

INHALT

STEINBÜCHEL	Die EMD-Fernsprechanlage des Bayerischen Rundfunks im Funkhaus München	683
ROJEK	Elektrische Ausrüstungen von Zuckerrohr-Möhlenanlagen ...	695
GÜGEL	Polizeirufanlagen	703
BÜCKNER	Wirtschaftliche Gestaltung von Hochspannungs-Freileitungen	705
FEIST	Wirkung und Auswahl der Erderanordnungen für Freileitungsmaste in Hochspannungsnetzen	715
ROCH	Berechnung der Beleuchtungsstärken bei Handlaufleuchten ...	723
MASSAR/SPINGLER	Gleichstrommaschinen für kleine Leistungen	727
NOTTEBROCK †	Fünzig Jahre Verstärkertechnik im Hause Siemens Die Pionierzeit der Verstärkerentwicklung	732

AUS DER GESCHICHTE DES HAUSES SIEMENS

BRILL	Werner Siemens und das Telefon	738
-------	--------------------------------------	-----

TECHNISCHE BERICHTE

DÖRFLER	Automat SSB zum Kurzschlußschutz für Beleuchtungsanlagen unter Tage	740
SCHOEPPER	Fernsteuerung von Eisenbahnstrecken in Südafrika	741
KRACKE	Die TELEPERM-Regelanlage eines Versuchsofens für Gas- und Ölbrenner ...	742
SCHUMMER	Neue Feuermeldeanlage für die Stadt Karlsruhe	745



Feuerwache West der Berufsfeuerwehr Karlsruhe
Am Bedienungstisch werden die eingehenden Meldungen angezeigt (s. hierzu Beitrag S. 745)

Die EMD-Fernsprechanlage des Bayerischen Rundfunks im Funkhaus München

VON OTTO STEINBÜCHEL

Am 27. November 1960 wurde die neue große Wähl-Nebenstellenanlage im Funkhaus München in Betrieb genommen. Die Anlage arbeitet mit Edelmetall-Motor-Drehwählern und ist mit Durchwahl, automatischer Gebührenerfassung und zahlreichen Einrichtungen für die besonderen Erfordernisse des Rundfunkbetriebes ausgerüstet.

Herr O. STEINBÜCHEL, der als Projektingenieur für Fernmeldeanlagen in der Technischen Direktion des Bayerischen Rundfunks tätig ist und maßgeblich am Entstehen der neuen Fernsprechanlage beteiligt war, stellte uns den folgenden Beitrag zur Verfügung. Der Verfasser berichtet über Planung und Merkmale der Wählvermittlung sowie über die bisherigen Betriebserfahrungen.

Die Anschlußkapazität der alten Nebenstellenanlage des Funkhauses München reichte schon seit längerer Zeit nicht mehr aus. Da das System aus den dreißiger Jahren stammte (Strowger-Wähler, Baustufe III S), entsprach diese Anlage auch in ihrer Handhabung nicht mehr den heutigen Anforderungen. Hinzu kamen Schwierigkeiten bei der Ersatzteilbeschaffung. Der Gedanke an eine Erweiterung schied daher von vornherein aus. Die längst notwendige Auswechslung gegen eine neue, größere Nebenstellenanlage scheiterte zunächst am mangelnden Raum. So fiel der Beginn der Planungen für die neue Fernsprechanlage zeitlich mit dem Beginn der Planungen für umfangreiche Erweiterungsbauten zusammen.

Anlagengröße

Verkehrsmessungen in der alten Nebenstellenanlage gaben Aufschluß über den Umfang des in der neuen Anlage zu erwartenden Verkehrs. Für die Festlegung der Anzahl der Nebenstellen bestanden folgende Anhaltspunkte: Die seit langem fehlenden Anschlußmöglichkeiten hatten zu einem erheblichen Nachholbedarf ge-

führt; die Erweiterungsbauten sahen eine Verdopplung der vorhandenen Räume vor; eine merkliche Erhöhung der Anzahl der Beschäftigten im Funkhaus war nicht zu erwarten.

Unter Berücksichtigung einer Reserve ergab sich für die neue große Wähl-Nebenstellenanlage (GWN) ein Ausbau für

- 60 Amtsleitungen
- 800 Nebenanschlüsse
- 8,5 % Innenverkehr
- 18 Querverbindungsleitungen aus 6 Richtungen
- 4 Vermittlungsplätze, davon ein Blindenplatz
- 1 Melde-, Auskunfts- und Hinweisplatz

Bei der Ermittlung der Wählerzahlen wurden neben den Vorschriften der ADA* VI, 3 A, die Erkenntnisse der Verkehrstheorie berücksichtigt. So sind z. B. den 100 II. Gruppenwählern (GW) 116 Leitungswähler (LW) nachgeordnet, so daß die acht kleineren Abnehmerbündel

* Allgemeine Dienstanweisung für das Post- und Fernmeldewesen

der LW-Gruppen etwa dieselbe Leistung haben, wie das aus 100 Schaltgliedern bestehende große Zubringerbündel der II.GW. Je Hundertergruppe stehen 13 bis 14 Anrufsucher (AS) für den abgehenden und 14 bis 15 LW für den ankommenden Verkehr zur Verfügung. Alle Schaltglieder der Anlage (besonders auch die Teilnehmerschaltung, also der Anrufsucherschritt einerseits mit dem Leitungswählerausgang andererseits) sind ausschließlich über einen Zwischenverteiler zusammengeschaltet. Dies macht die Anlage in höchstem Maß anpassungsfähig an sich ändernde Verkehrsbedürfnisse und ermöglicht für den abgehenden Verkehr einen Belastungsausgleich zwischen einzelnen Hundertergruppen ohne Rufnummernänderung.

Die 60 Amtsleitungen sind in folgende Bündel aufgeteilt (vgl. Bild 6):

- 22 ankommende Amtsleitungen mit Durchwahl
- 8 doppeltgerichtete Amtsleitungen mit Durchwahl
- 13 abgehende Amtsleitungen mit Gebührenerfassungseinrichtung
- 13 abgehende Amtsleitungen ohne Gebührenerfassungseinrichtung
- 4 doppeltgerichtete Amtsleitungen ohne Durchwahl mit eigener Sammelanschlußnummer

Systemauswahl

Die Ausschreibung der GWN-Anlage hatte unter den Alternativen »Klassische Schrittschaltwähler-Technik« und »Edelmetallkontakt-Technik« stattgefunden. Zwischen den hierfür in Betracht kommenden Systemen galt es, in wirtschaftlicher Hinsicht abzuwägen.

Dem etwas höheren Kapitalaufwand für Systeme mit Durchschaltung der Sprechwege über Edelmetallkontakte standen Vorteile nicht nur technischer, sondern auch wirtschaftlicher Art gegenüber:

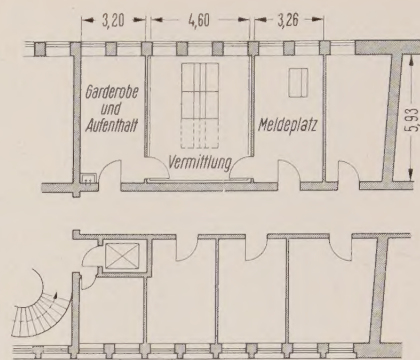
Der Wegfall von Stoßklinken und die geringere Anzahl bewegter Teile bei den Schaltgliedern vermindern den Verschleiß erheblich. Dies läßt längere Lebensdauer und geringeren Wartungs- und Reparaturbedarf erwarten.

Die Durchschaltung der Sprechstromkreise über Edelmetallkontakte verbessert zusammen mit erschütterungsarmen Antrieben die Übertragungsqualität und Stabilität der Zweidrahtkreise. Die hierdurch erzielte höhere Betriebsgüte steigert den Benutzungswert der Fernsprechanlage.

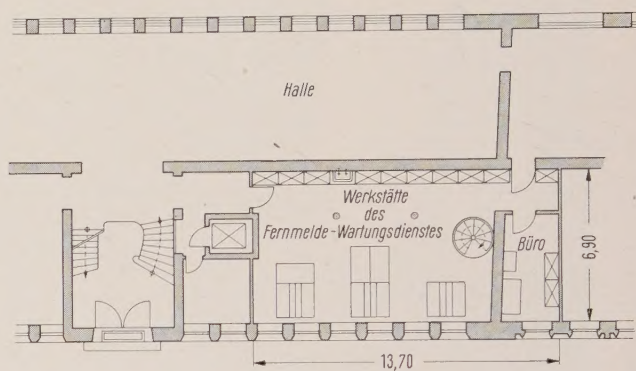
Da es sich um zukunftsichere Entwicklungen jüngerer Zeit handelt, ist zu erwarten, daß ihre Bauteile, auch auf lange Sicht gesehen, in unveränderter Form hergestellt werden.

Es wurde festgestellt, daß der durch die Vorteile erzielbare Nutzen den höheren Kapitalaufwand rechtfertigt [1].

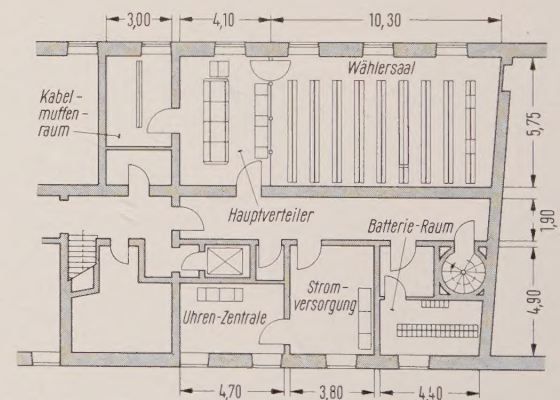
Die Entscheidung fiel letztlich zugunsten des von Siemens & Halske angebotenen GWN-Systems mit



1. Obergeschoß



Erdgeschoß



Untergeschoß

Bild 1 Räumliche Anordnung der Fernmelde-Einrichtungen im Funkhaus München

Edelmetall-Motor-Drehwählern (EMD) [2, 3]. Die bisher im Betrieb der Anlage gewonnenen Erfahrungen bestätigen die Richtigkeit dieser Wahl.

Lösung der Raumfrage

Der Ausbau von Rundfunkstudios und rundfunktechnischen Einrichtungen erfordert erheblich mehr Zeit als der Ausbau von Büroräumen. Da im Funkhaus Raum-mangel herrschte und ein großer Teil der Dienststellen

in gemietete Räume verlagert war, wurde bei den Bauvorhaben die Fertigstellung der Büroräume zeitlich vorgezogen. Der erhebliche Mehrbedarf an Fernsprechnebenanschlüssen für diese Räume ließ sich mit der vorhandenen Nebenstellenanlage nicht mehr decken. Die neue Anlage mußte daher vor Beziehen der neuentstandenen Büros fertiggestellt sein. Aus diesem Grund kam ein Einbau der Vermittlungseinrichtung im Neubau nicht in Betracht, so daß in bestehenden Gebäuden geeignete Unterbringungsmöglichkeiten gefunden werden mußten.

Die von der Bauabteilung und der Technischen Direktion des Bayerischen Rundfunks in engem Kontakt mit Siemens & Halske erarbeitete Lösung kann als geglückter Kompromiß bezeichnet werden. Es wurden nach entsprechendem Umbau zum Teil die ehemaligen Räume des Schallarchivs für die Unterbringung herangezogen, die zentral gelegen sind – bezogen auf die vorhandenen und entstehenden Gebäude sowie im Hinblick auf geplante Erweiterungsbauten auf dem Funkhausgelände. Die ehemaligen Archivräume bieten ferner den Vorzug, durch eine Klimaanlage mit selbsttätiger Temperatur- und Luftfeuchterege- lung versorgt zu sein. Wie Bild 1 zeigt, konnte auch die Zuordnung



Bild 2 Blick in den Wählersaal vom Hauptverteilteraum aus

der einzelnen Betriebs- und Arbeitsräume günstig gelöst werden.

Da für den Wählersaal (Bild 2) nur eine Raumhöhe von 3,05 m zur Verfügung stand, wurde zum Ausgleich die Höhe der Wählerahmen-Gestellfüße von 20 cm auf 5 cm verringert, so daß oberhalb der verkleideten Gestelle etwa 30 cm für Kabelroste, Kabel und Kabelarbeiten verbleiben. Die räumliche Ausdehnung des Wählersaals wird zunächst von einer 60 cm starken Trennmauer zum Nachbargebäude hin begrenzt. Für den Fall notwendiger

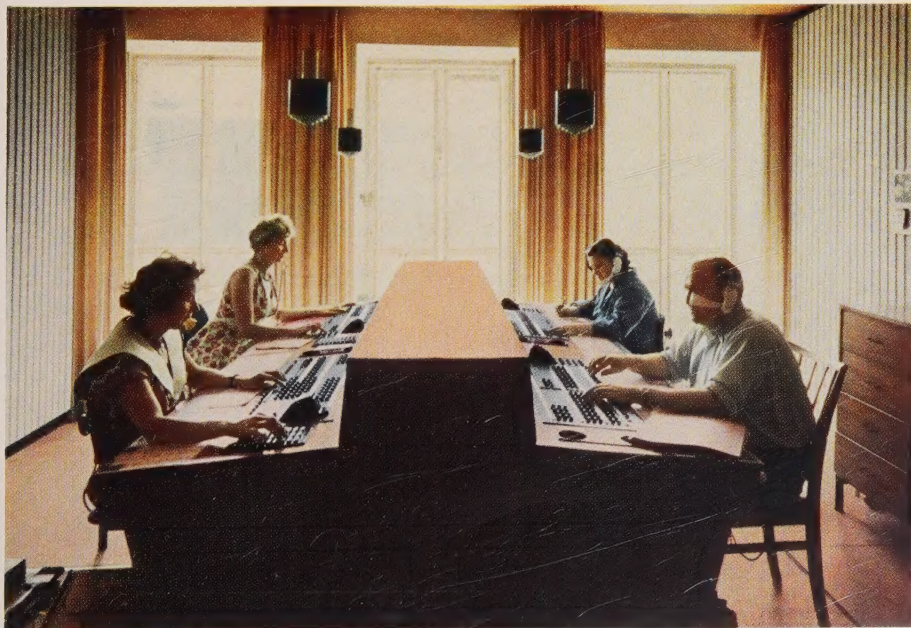


Bild 3 Vermittlungsraum mit den vier Arbeitsplätzen

Erweiterungen ist jedoch bereits vorgesorgt: Die Mauer erhielt für den Gang neben den Gestellreihen und für die Kabelroste Durchbrüche, die z. Z. noch in Leichtbauweise verschlossen sind.

Der Anlagenwert der fernmeldetechnischen Einrichtungen rechtfertigte besondere bautechnische und architektonische Maßnahmen. So sind z. B. Wände und Decken des Wählersaals, der Räume für Hauptverteiler, Stromversorgung und Uhrenzentrale sowie die Decke des Batterieraumes in Hornstuck ausgeführt und die Wände des Batterieraumes bis zur Decke gefliest, um Staubablagerungen zu verhindern. Der Wählersaal wurde vom Hauptverteilteraum durch eine Metallglaswand getrennt und braucht daher nur für Wartungs- und Entstörungsarbeiten begangen zu werden; Staubentwicklung wird also weitgehend vermieden. Von der Werkstätte des Fernmelde-Wartungsdienstes im Erdgeschoß (vgl. Bild 8) wurde über eine Wendeltreppe ein unmittelbarer Zugang zu den Betriebsräumen im Untergeschoß geschaffen.

An den Wänden und Decken des Vermittlungsraumes (Bild 3) und des Raumes für den Melde-, Auskunft- und Hinweisplatz wurden Schallschluckstoffe angebracht. Um einen angenehmen architektonischen Eindruck zu erzielen, erhielten die Wände des Vermittlungsraumes eine Dämpa-Panel-Verkleidung; die Deckenverkleidung in beiden Räumen ist im Gegensatz hierzu als Holzstabdecke ausgeführt.

Betriebsbedingungen und Anlagenmerkmale

Planungsgrundsätze

Der Planung lagen hauptsächlich folgende Gesichtspunkte zugrunde:

1. Von den vielfältigen technischen und betrieblichen Möglichkeiten der Nebenstellentechnik sollte dort Gebrauch gemacht werden, wo Vorteile bei der Abwicklung des Fernsprechverkehrs zu erwarten waren. Dabei mußte jedoch die Handhabung der Fernsprecheinrichtungen sowohl für den Nebenstellen- als auch für den Amtsteilnehmer möglichst einfach bleiben.
2. Die technischen Zusammenhänge sollten für das Wartungspersonal klar und übersichtlich sein. Für Wartung und Entstörung waren technische Prüf- und Meßhilfsmittel in einem solchen Umfang einzusetzen, daß durch Arbeitserleichterung der Stamm an Personal klein gehalten wird.
3. Die Einrichtung der neuen Nebenstellenanlage im Funkhaus bot die günstigste Gelegenheit, das in der Nachkriegszeit unorganisch gewachsene, teils sternförmige, teils vermaschte sowie kettenförmig zusammengeschaltete Querverbindungsnetz des Bayerischen Rundfunks neu zu ordnen. Dasselbe galt für das Betriebsleitungsnetz, soweit es über Abzweigleitungen mit den Nebenstellenanlagen verbunden ist.

4. Es mußte ermöglicht werden, die am Querverbindungsverkehr teilnehmenden Nebenstellenanlagen »anderer«* und Nebenanschlüsse für »andere« so anzuschließen, daß die durch Amtsblatt-Verfügung des BPM im Jahre 1958 zusätzlich erschwerend auftretenden Vorschriften erfüllt wurden. Gleichzeitig sollten die verbleibenden Verkehrsmöglichkeiten mit und für »andere« mit einem Minimum an Kosten und mit einfachsten technischen Hilfsmitteln für die Verhinderung unzulässiger Verbindungen sinnvoll genutzt werden.

Allgemeine Ausstattung

Nachdem im Jahre 1956 die Deutsche Bundespost in einer neuen, sich von der früheren SANA-Technik [4] unterscheidenden Betriebsweise wieder Nebenstellenanlagen mit Durchwahl zugelassen hatte [5], entschloß man sich von vornherein, hiervon Gebrauch zu machen.

Die verschiedenartigen Verkehrsberechtigungen für die Nebenstellen, wie nicht amtsberechtigt, halb amtsberechtigt, amtsberechtigt und fernberechtigt, können ohne Bindung an eine bestimmte Gruppierung durch einfaches Umlöten verändert werden.

Folgende Bedingungen, die nach ADA VI, 3A, innerhalb der Regelausstattung wahlweise oder nur auf Wunsch vorzusehen sind, werden in der neuen Nebenstellenanlage erfüllt: selbsttätige Durchschaltung zur freigewordenen Nebenstelle, wenn ankommende Amtsverbindungen, die über die Vermittlung hergestellt wurden, in Wartestellung stehen; Rückfragemöglichkeit auch über eine andere Amtsleitung; Gesprächsrückgabe an die Vermittlung für alle Amtsverbindungen, wenn bei der Nebenstelle in Rückfrage aufgelegt wird; Eintreterzeichen für die Vermittlung (Flackern zum Platz) bei allen Amtsverbindungen; selbsttätiges Umlegen von Amtsverbindungen.

Die Stromversorgungseinrichtung besteht aus zwei Netzgeräten zu je 50 A mit lastabhängiger Parallelschaltung. Eine unter Erhaltungsladung stehende Batterie mit 31 Zellen für 270 Ah ist für eine dreistündige Entladung ausgelegt, obwohl auch eine für den technischen Funkhausbetrieb notwendige Netzreserve in Form eines Diesel-Notstromaggregates vorhanden ist.

In einem eigenen Batterieverteilungsschrank sind Gleichrichter für die Uhrenzentrale und die Feuermeldezentrale untergebracht. Hier verzweigen sich auch die Stromkreise für die Nebenstellenanlage und die Stockwerksverteiler.

Gebührenerfassung

Der Forderung nach einer Gebührenerfassungseinrichtung gingen eingehende Überlegungen voraus. Bei oberflächlicher Betrachtung des Problems erschien eine der-

* Begriff aus der Fernsprechordnung

artige Einrichtung zunächst überflüssig, da eine Weiterverrechnung von Gebühren nur in wenigen Ausnahmefällen (z. B. Privatgespräche) notwendig ist. Demgegenüber war zu berücksichtigen, daß – wie allgemein beobachtet wurde – auch beim Bayerischen Rundfunk der Fernsprechverkehr und damit die Gesprächskosten eine ständig steigende Tendenz aufwiesen. Ferner war durch den Ausbau des Selbstwählerferndienstes immer mehr eine Verlagerung von den durch einzelne Lastzettel belegten Gesprächskosten des handvermittelten Ferndienstes zu den summarisch anhand der angefallenen Gebühreneinheiten berechneten Kosten für Selbstwählerferngespräche eingetreten. Mit dem Einsatz von Sperrmitlaufwerken für die damalige bayerische Netzgruppe hatte der Bayerische Rundfunk im Jahre 1950 die Erfahrung gewonnen, daß die Einführung einer gewissen Kontrolle – in diesem Fall der Zwang, alle Ferngespräche bei der Vermittlung anmelden zu müssen – zu beachtlichen Ersparnissen an Gesprächskosten führen kann. Diese Lösung hatte allerdings den Nachteil einer Mehrbelastung der Vermittlung mit sich gebracht.

Durch den Einsatz einer Gebührenerfassungseinrichtung und einer entsprechenden Auswertung – so wurde daher geschlossen – lassen sich Kosten einsparen. Voraussetzung hierzu ist, daß die einzelnen Kostenstellen des Betriebs im Einzelnachweis je Nebenstelle und Gespräch über eigens hierfür zur Verfügung stehende Haushaltstitel belastet werden. Das Wissen um das Vorhandensein einer Aufzeichnung der Gesprächsdaten wird – so war weiter anzunehmen – zu einer Beschränkung der Zahl und Dauer von Dienstgesprächen auf das unbedingt notwendige Maß führen und wird Privatgespräche und mißbräuchliche Überlassung von Nebenanschlüssen an hausfremde Personen einschränken. Der Kapaldiens und die Betriebskosten für die Gebührenerfassung und deren Auswertung sollen dabei gering sein gegenüber dem durch die zu erwartenden Einsparungen hervorgerufenen Nutzen.

Aus diesen Überlegungen heraus entschloß sich der Bayerische Rundfunk, eine Gebührenerfassungseinrichtung einzusetzen, bei der das Ergebnis auf Lochstreifen festgehalten wird (Bild 4) [6,7]. Bei dieser Art der Informationsaufzeichnung ist über Lochkartensysteme eine automatisierte Auswertung mit geringen Auswertekosten möglich [8].

Ortsgesprächsgebühren werden nicht erfaßt, da keine zwingende Notwendigkeit hierfür besteht, und da die Kosten für das Erfassen und Auswerten der vielen Ortsgespräche im Werte von nur je 0,16 DM hoch wären gegenüber den dabei zu

erwartenden Einsparungen. Infolge dieser Entscheidung war es möglich, nur einen Teil der abgehend belegbaren Amtsleitungen (13 von 34) mit Einrichtungen für Gebührenerfassung auszurüsten und so den Aufwand entsprechend klein zu halten. Durch besondere Maßnahmen ist sichergestellt, daß fernberechtigte Teilnehmer abgehende Selbstwählerferngespräche nur auf den Amtsleitungen mit Gebührenerfassungseinrichtung führen können; das Vermittlungspersonal ist angewiesen, abgehende Gespräche im Selbstwählerferndienst ebenfalls nur auf diesen Leitungen abzuwickeln.

Je Selbstwählerferngespräch werden auf dem Lochstreifen aufgezeichnet: die laufende Nummer der beteiligten Amtsleitung, das Gesprächsziel und die Rufnummer der Nebenstelle, die Zahl der angefallenen Gebühreneinheiten sowie Tag, Monat und Uhrzeit.

Bei Gesprächsumlegung werden für jede beteiligte Nebenstelle alle genannten Daten wie bei Einzelgesprächen aufgezeichnet, wobei die Anzahl der Gebühreneinheiten anteilig gelocht wird. An die Vermittlung zurückgegebene Gesprächsanteile und von ihr geführte Gespräche werden unter einer hierfür fiktiv zugeteilten Nebenstellen-Rufnummer mit ebenfalls allen Daten festgehalten, sofern die Vermittlung die Verbindung auslöst.

Zur Kennzeichnung von Privatgesprächen hat jeder Vermittlungsplatz eine Taste, durch deren einmalige Betätigung beim Herstellen des Gespräches die laufende

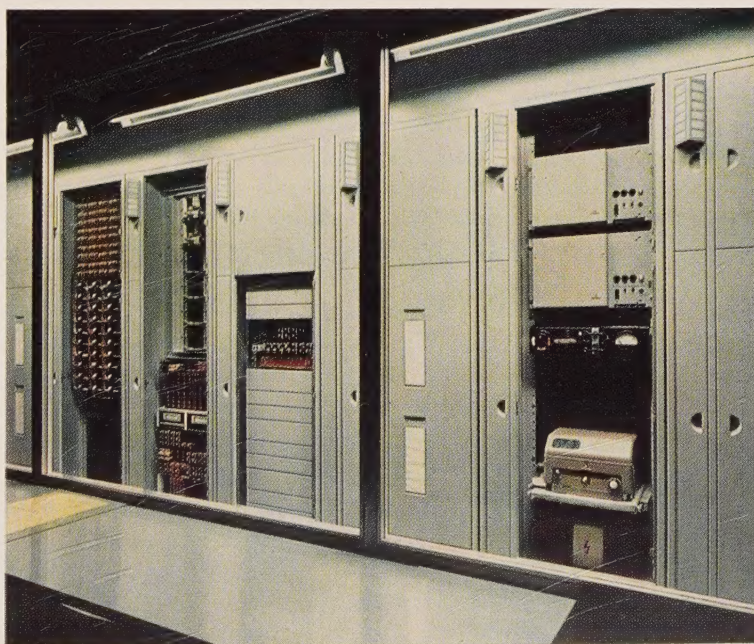


Bild 4 Gebührenerfassungseinrichtung (geöffnet)
mit Ringkern-Auswertefeld und Streifenlocher

Nummer der Amtsleitung von 01 bis 13 in 51 bis 63 umkodiert wird. Die Lochkarten für Privatgespräche lassen sich hierdurch auf einfache Weise bereits beim ersten Arbeitsgang (Sortieren der Karten nach der ersten Spalte) zur weiteren Bearbeitung ausscheiden.

Bei der Gebührenerfassungseinrichtung (Bild 4) handelt es sich um eine der ersten Anlagen, die mit Teilnehmerfeststellung über ein sogenanntes Ringkern-Auswertefeld arbeiten [9,10].

Es liegt in der besonderen Art des Betriebes begründet, daß trotz des Vorhandenseins der Gebührenerfassungseinrichtung alle abgehenden und doppelgerichteten Amtsleitungen mit Sperrmitlaufwerken ausgerüstet wurden. Diese sind für die Sperrung von sechststelligen Zahlen eingerichtet, damit z. B. bestimmte Sonderdienste oder nötigenfalls einzelne Richtungen des Fernverkehrs freigegeben werden können.

Vermittlung

Die ankommenden und doppelgerichteten Amtsleitungen sind teils über zwei, teils über drei Abfrageplätze vielfachgeschaltet (vgl. Bild 6). Die 13 abgehenden Amtsleitungen mit Gebührenerfassung wurden auf drei Vermittlungsplätze verteilt. Die übrigen 13 abgehenden Amtsleitungen stehen ebenfalls der Vermittlung zur Verfügung, damit die Nebenstellenteilnehmer – ohne unterscheiden zu müssen, ob ein Gespräch abgehend oder ankommend geführt wird – in jedem Fall Gesprächsrückgabe oder Flackern zum Platz vornehmen können. Auf Platz 1 sind außerdem die vier doppelgerichteten

Amtsleitungen ohne Durchwahl angeschaltet. Diese Leitungen dienen der Abwicklung des Fernverkehrs über das Fernamt; sie können von den Nebenanschlüssen aus abgehend nicht selbsttätig erreicht werden. Durch die den Leitungen eigene Rufnummer und durch die Tatsache, daß die Leitungen nur an einem Platz enden, ist sichergestellt, daß bei Rückwärtsaufbau abgehender Verbindungen durch das Fernamt diese zwangsläufig nur demjenigen Vermittlungsplatz zugeleitet werden, der sie beim Fernamt angemeldet hat.

Sechs Rundfunk-Fernleitungen führen zum Platz 2 und können dort im Endverkehr zu Nebenstellen des Bayerischen Rundfunks sowie über tastengesteuerte Verbindungssätze im Durchgangsverkehr verbunden werden.

Die Plätze 1 und 2 haben Zugang zu allen Leitungen. Die Leitungen des Melde-, Auskunfts- und Hinweisplatzes können wahlweise auch vom Platz 2 abgefertigt werden. Das Ziehen des Klinkensteckers der Sprechgarnitur am Platz 1 bewirkt Umschaltung nach Platz 2. Die personelle Besetzung der Vermittlung kann daher sehr differenziert dem jeweiligen Verkehrsanfall angepaßt werden.

Die Abfrageplätze wurden mit Hilfsmitteln ausgestattet, die ein rasches und reibungsloses Herstellen der Verbindungen gewährleisten. Das Zusammenfassen der Melde- und Hinweisleitungen auf einem eigenen Platz macht den Tätigkeitsablauf an den Vermittlungsplätzen flüssiger, weil dadurch an diesen Plätzen Schreibarbeiten fast völlig entfallen. Vom Melde-, Auskunfts- und Hinweisplatz



Bild 5 Querverbindungsnetzplan und außenliegende Nebenstellen

besteht zu jedem der vier Vermittlungsplätze eine Zettelrohrpostverbindung und eine direkte Dienstleitung.

Die Ausrüstung eines der vier Vermittlungstische mit Blindentastzeichen ermöglichte es, auch für einen Blinden einen vollwertigen Arbeitsplatz zu schaffen. Führungsschienen in Verbindung mit Gruppentastzeichen erleichtern die Orientierung auf dem Bedienungsfeld. Als weitere Hilfe dient ein Telefonbuch in Blindenschrift (s. Bild 3).

Alle Vermittlungsplätze erhielten Zahlengeber und, mit Ausnahme des Blindenplatzes, NAMENTASTER* für jeweils 30 Ziele mit maximal 16stelligen Rufnummern. Jede Amtsleitung ist mit einer Kettengesprächseinrichtung versehen. Ein Besetztlampenfeld für 800 Nebenstellen erleichtert die Vermittlungstätigkeit.

Querverbindungsnetz

Da am Querverbindungsnetz des Bayerischen Rundfunks in München sieben Nebenstellenanlagen fünf verschiedener Rechtspersonen (die die Deutsche Bundespost als »andere« betrachtet) beteiligt sind und da Abzweigleitungen zum Betriebsfernspornez bestehen, waren Maßnahmen zur »technischen Verhinderung« unzulässiger Verbindungen zu treffen. Entsprechend dem Leitgedanken klarer und übersichtlicher technischer Zusammenhänge für das Wartungspersonal sollte die Anlage nicht unnötig mit Sperrkennzeichen belastet werden. Soweit möglich, wurden daher mit Hilfe von Bündelgruppen im *I.GW* einstellige Ausscheidungen vorgenommen. Dies war mit ausschlaggebend, daß bereits für den Ausbau von 800 Nebenstellen *II.GW* eingesetzt und die Rufnummern auf vier Stellen erweitert wurden. Auf den unmittelbaren Anschluß einiger *LW*-Gruppen an den *I.GW* wurde bis auf eine Ausnahme verzichtet, da dies nur eine geringe Ersparnis bedeutet hätte bei organisatorischen Nachteilen durch das Nebeneinander von drei- und vierstelligen Rufnummern.

Die Querverbindungsleitungen wurden sternförmig an die neue Nebenstellenanlage angeschlossen (Bild 5). An einer aus Knoten-Gruppenwählern (*KGW*) bestehenden Wahlstufe wird die Richtungsausscheidung vorgenommen. Dies macht einerseits auch im Querverbindungsverkehr auf einfachste Weise »technische Verhinderung« unzulässiger Verbindungen durch Bündelgruppen der *KGW*-Ausgänge (Nichtbeschalten von Dekaden, die nicht erreicht werden dürfen) möglich und bringt andererseits den Vorteil einheitlicher Querverbindungs-Kennzahlen für alle angeschlossenen Nebenstellenanlagen.

Eine Ausrichtung des Querverbindungsnetzes nach rein geografischen Gesichtspunkten hätte zwar kürzere Leitungslängen und damit geringere Leitungsmieten, jedoch größeren technischen Aufwand gebracht. Außerdem hätte man dreistellige Kennziffern in Kauf nehmen oder – um diese zu vermeiden – Netzgruppenschalter bzw. Umsteuereinrichtungen im Fernsehstudio Freimann

einsetzen müssen. Beide Lösungen wären auch dadurch kostspieliger und komplizierter gewesen, daß sie die Einführung eines Sperrkennzeichens für Querverbindungsverkehr »anderer« und dessen Übertragung auf den Querverbindungsleitungen bedeutet hätten.

Gruppierung

Der in Tafel 1 dargestellte Kennzahlen- und Rufnummernplan entstand durch die notwendigen Verkehrs- und Richtungs Ausscheidungen nahezu zwangsläufig.

Verkehrsrichtungen, die durch die Ziffer »1« an erster Stelle gekennzeichnet sind, können in Durchwahl nicht erreicht werden. Es lag aus mnemotechnischen Gründen nahe, die »1« als Kennziffer für die Meldeleitungen zu verwenden, weil auch bei Anrufen vom Amt her nach Wahl der Rufnummer des Durchwahlanschlusses durch die Kennzahl »1« der Platz angesteuert wird. Für den Teilnehmer bleibt damit »1« die Rufnummer der Vermittlung.

An den Ausgang der sechsten Dekade des *I.GW*, die Nebenanschlüsse »anderer« und Ansteuerung von Querverbindungsleitungen zur Weitergabe von Amtsgesprächen kennzeichnet, ist eine kleine *LW*-Gruppe ohne Zwischenschaltung von *II.GW* angeschlossen, da hier weniger als 100 Richtungen benötigt werden. Diejenigen Eingänge der Querverbindungs-Übertragungen (*QUe*) für doppeltgerichteten Haus- und Amtsverkehr, deren Belegung Platzansteuerung in der Gegenanlage veranlaßt, sind an die *LW* des sechsten Hunderts angeschlossen, weil sich hierdurch kürzere Rufnummern ergaben und eine der für »andere« notwendigen Sperrmaßnahmen dabei mit ausgenutzt werden konnte: Nichtbeschalten der sechsten Dekade der Querverbindungsgruppenwähler (*QGW*).

Von der Dekade »9« der *I.GW* wird ein Zweit-Eingang der 13 Amtsübertragungen für abgehenden Selbstwählfernverkehr mit Gebührenerfassung belegt und, sofern die Belegung mit Fernberechtigungs-Kennzeichen vorgenommen wird, das Sperrmitlaufwerk abgeschaltet. Von der Dekade »0« der *I.GW* werden alle abgehenden und doppeltgerichteten Amtsleitungen erreicht, wobei die Mischung folgende Reihenfolge bevorzugt: abgehend ohne Gebührenerfassung, doppeltgerichtet, abgehend mit Gebührenerfassung. Bei Belegung mit Fernberechtigungs-Kennzeichen der abgehenden Leitungen ohne Gebührenerfassung und der doppeltgerichteten Leitungen bleibt das Sperrmitlaufwerk wirksam.

Der Übersichtsplan (Bild 6) läßt erkennen, daß den zehn Nebenanschlüssen für »andere« Sperrübertragungen (*SpUe*) vorgeschaltet sind. An sich hätte es genügt, für diese Anschlüsse ein eigenes kleines Bündel aus *AS* und *I.GW* zu bilden und diejenigen Dekaden der *I.GW* unbeschaltet zu lassen, die nicht erreicht werden dürfen. Da die Anschlüsse für »andere« gegebenenfalls aber auch amtsberechtigt sein sollen, wäre es dann möglich gewesen, die gesperrten Richtungen nach Belegen einer Amtsleitung über den Rückfrageweg zu erreichen. Es sei denn, man

* Eingetragenes Warenzeichen

hätte die Rückfragemöglichkeit zu den betreffenden Richtungen durch Nichtbeschalten auch der über Rückfrage-Anrufsucher (*RAS*) erreichten *I.GW* allgemein verhindert, was jedoch eine bedeutende Einschränkung für alle Teilnehmer gewesen wäre. Die Sperrübertragungen brauchten wegen der grundsätzlichen Entscheidung für einstellige Verkehrsausscheidung auch nur für einstellige Sperrziffern (»1« bis »0«) ausgelegt zu werden, müssen aber die Erdtastenbetätigung (Rückfrage) mit auswerten. Zur Zeit sind die Richtungen »6«, »7« und »8« bei Normal- und Rückfragebelegung gesperrt. Die Anschlüsse »anderer« können sich also grundsätzlich untereinander nicht erreichen, obwohl dies für

Sprechstellen »anderer« auf dem Grundstück der Nebenstellenanlage zulässig wäre. Die Unterscheidung zwischen innenliegenden und außenliegenden Nebenstellen »anderer« hätte zusätzlichen Aufwand bedeutet, z. B. bei einstelliger Verkehrsausscheidung eine weitere Hundertergruppe und damit zusätzliche Wähler sowie den Verlust einer Dekade des *I.GW*. Der dekadische Aufbau des Systems und die Tatsache, daß alle Schaltglieder der Anlage über den Zwischenverteiler geführt sind, ermöglichen jederzeit eine entsprechende Änderung auf einfache Weise. Auch der Zugang zu den Querverbindungsleitungen ist Anschlüssen »anderer« genommen, da dies ebenfalls bedeutet hätte, über die Querverbin-

Kennzahl		Stellenzahl	kommt vom	geht an	Richtung	
1. Ziffer	2. Ziffer					
1		1	<i>I. GW</i>	<i>MUe</i>	Kennzahl für Meldeanschluß der Vermittlung	
2	0 bis 7	4	<i>II. GW</i>	<i>LW</i>	790 Teilnehmer-Rufnummern 2000 bis 2789	
3			<i>I. GW</i>	<i>Vz</i>	Unbeschaltet (Reserve für weitere Teilnehmer-Tausend, Personensuchanlage und besondere Teilnehmergruppen)	
4			<i>I. GW</i>	<i>Vz</i>		
5			<i>I. GW</i>	<i>Vz</i>		
6		3	<i>I. GW</i>	<i>LW</i>	10 Teilnehmer-Rufnummern für »andere« 690 bis 699	
		2 ¹⁾	<i>I. GW</i>	<i>LW</i>	Kennzahl zur Platzansteuerung in Gegenanlagen über Querverbindungsleitungen	62 ¹⁾ (621 bis 625) Fernsehstudio Freimann
		2 ¹⁾	<i>I. GW</i>	<i>LW</i>		63 ¹⁾ (631 bis 632) Sender Ismaning
		2 ¹⁾	<i>I. GW</i>	<i>LW</i>		64 ¹⁾ (641) Bayerischer Werbefunk
7		1	<i>I. GW</i>	<i>WUe</i>	Kennzahl für Abzweigleitungen zur Betriebsfernsprechanlage	
8			<i>I. GW</i>	<i>KGW</i>	Verkehrsausscheidungsziffer für Querverbindungsverkehr	
	1	2	<i>KGW</i>	<i>QGW</i>	Querverbindungskennzahl »Funkhaus München«	
	2	2	<i>KGW</i>	<i>QUe</i>	Querverbindungskennzahl »Fernsehstudio Freimann«	
	3	2	<i>KGW</i>	<i>QUe</i>	Querverbindungskennzahl »Sender Ismaning«	
	4	2	<i>KGW</i>	<i>QUe</i>	Querverbindungskennzahl »Bayerischer Werbefunk« ²⁾	
	5	2	<i>KGW</i>	<i>QUe</i>	Querverbindungskennzahl »Bayerisches Werbefernsehen« ²⁾	
	6	2	<i>KGW</i>	<i>QUe</i>	Querverbindungskennzahl »Riva-Studios« Unterföhring ²⁾	
	7	2	<i>KGW</i>	<i>QUe</i>	Querverbindungskennzahl »Institut für Rundfunktechnik« ²⁾	
	8		<i>KGW</i>	<i>Vz</i>	Unbeschaltet (Reserve für weitere Querverbindungsleitungen)	
	9		<i>KGW</i>	<i>Vz</i>		
0		<i>KGW</i>	<i>Vz</i>			
9		1	<i>I. GW</i>	<i>AUe</i> mit <i>GE</i>	Amtskennzahl für abgehenden Selbstwählerfernverkehr	
0		1	<i>I. GW</i>	<i>AUe</i>	Amtskennzahl für abgehenden Ortsverkehr	

1) Verkürzte Rufnummern dadurch, daß der *LW* nach Erreichen der Dekaden-Haupttrast den anschließenden Sammelanschluß in Freiwahl »abprüft«. Die daneben in Klammern stehenden Zahlen bezeichnen die eigentlichen Rufnummern des Sammelanschlusses.

2) Die Gegenanlagen sind Anlagen »anderer«.

Vz Zwischenverteiler. Weitere Abkürzungen s. Bild 6. Bei den Querverbindungskennzahlen ist der vom Richtungsansagegerät gegebene oder vorgesehene Text in Anführungsstriche gesetzt.

Tafel 1 Kennzahlen- und Rufnummernplan

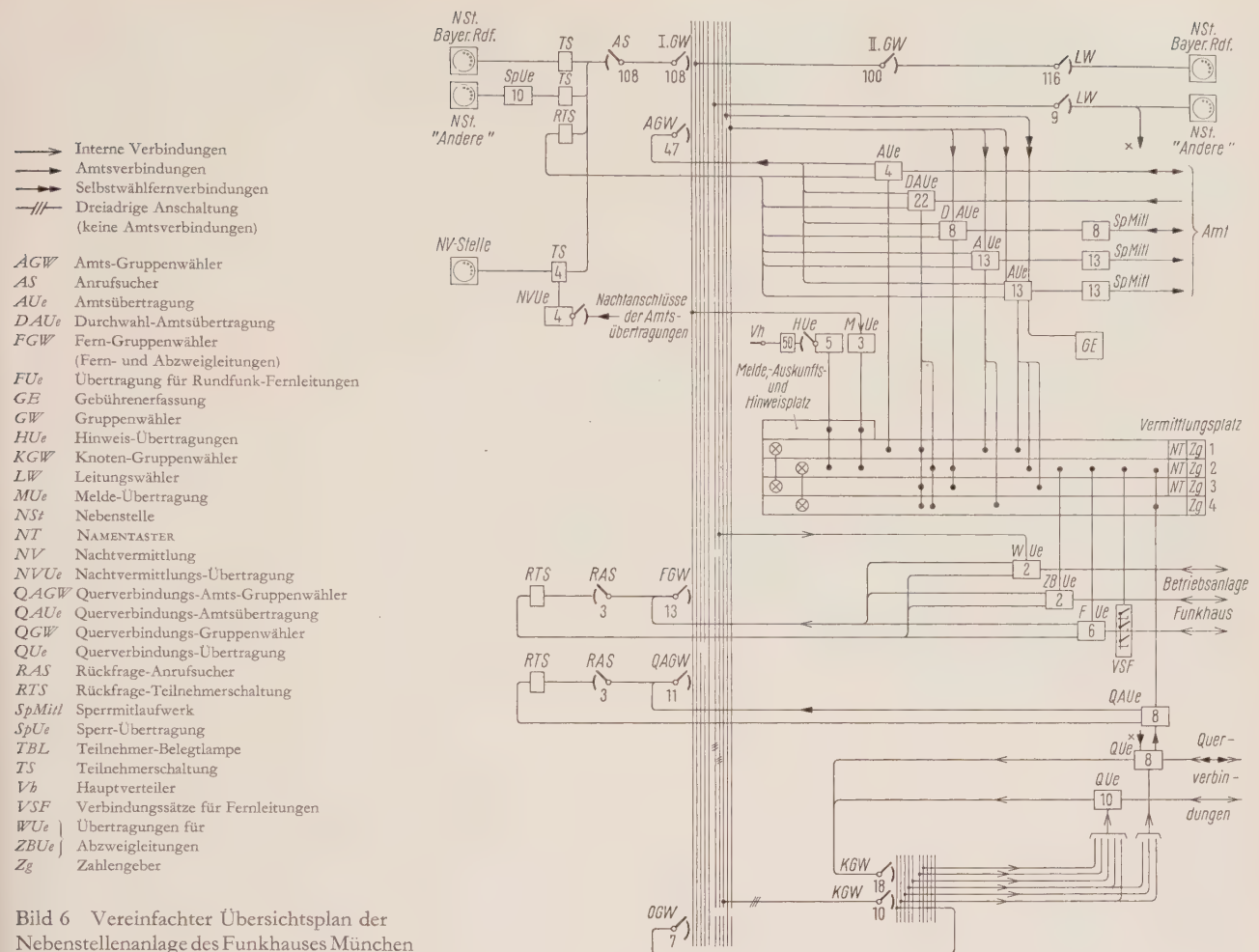


Bild 6 Vereinfachter Übersichtsplan der Nebenstellenanlage des Funkhauses München

ungsleitungen eine Kennzeichnung »anderer« mitzu-
übertragen, um auf diese Weise in der Gegenanlage
Verbindungen mit »anderen« verhindern zu können.

Der Übersichtsplan läßt weiter erkennen, daß die Aus-
gänge der einzelnen Bündelgruppen im I.GW teils vier-
adrig und teils dreiadrig ohne z-Ader (kein Amtsverkehr)
beschaltet sind, da auch die Übertragungen für Abzwei-
gleitungen, also Wähl-Übertragungen (*WUe*) und Übertra-
gungen ohne Wählmöglichkeit (*ZBUe*), sowie die Übertra-
gungen für Rundfunk-Fernleitungen (*FUE*) und die Quer-
verbindungs-Amtsübertragungen (*QAUe*) wie Amts-
übertragungen geschaltet sind und betrieben werden
(Rückfrage, Umlegen, Gesprächsrückgabe, Flackern zum
Platz usw.). Dies trug wesentlich dazu bei, daß man die
restlichen Maßnahmen zum Verhindern unerlaubter Ver-
bindungen durchführen konnte, ohne in großem Umfang
besondere Sperrkennzeichen einführen zu müssen.

Verbindungen zum Betriebsfernsprechnet

An den Standorten der Nebenstellenanlagen des Baye-
rischen Rundfunks, Funkhaus München, Fernsehstudio

Freimann und Sender Ismaning, bestehen jeweils Ver-
mittlungseinrichtungen des Betriebsfernsprechnetes.
Zur klaren Trennung zwischen dem Betriebsfernspre-
chnet einerseits und dem Nebenstellen- und Querver-
bindungsnetz andererseits wurden Abzweigleitungen
zwischen jeder der drei genannten Nebenstellenanlagen
und Betriebsvermittlungen eingerichtet, so daß es nicht
notwendig ist, auch in dem an sich zulässigen Rahmen
Abzweigleitungen mit Querverbindungsleitungen zu-
sammenschalten.

Von der Nebenstellenanlage des Funkhauses führen in
Form von Überweisungsleitungen vier Abzweigleitungen
zur Betriebsvermittlung. Zwei dieser Leitungen werden
als Rufleitungen betrieben und enden beiderseits auf
ZBUe. Sie können von den Teilnehmern der Neben-
stellenanlage abgehend nicht selbsttätig belegt werden.
Über die beiden anderen Abzweigleitungen kann die
Betriebsvermittlung mit Hilfe der Schaltglieder der
Nebenstellenanlage – Wähl-Übertragungen (*WUe*), Fern-
Gruppenwähler (*FGW*), II.GW und LW – Verbindun-
gen selbst aufbauen und mit den Betriebsleitungen ver-
binden. Die *WUe* sind von den Teilnehmern der Neben-

stellenanlage abgehend über die Kennzahl »7« selbsttätig erreichbar.

Der Vermittlung der Nebenstellenanlage stehen Rundfunk-Fernleitungen zur Verfügung, die sowohl von der Betriebsvermittlung als auch von der Vermittlung der Nebenstellenanlage bedient werden können. Die Betriebsvermittlung entscheidet über die Durchschaltung der einzelnen Leitungen zur Vermittlung der Nebenstellenanlage; sie hat dabei in der Benutzung der Fernleitungen den Vorrang. Die Schaltzustände der Fernleitungen werden der Vermittlung der Nebenstellenanlage und der Betriebsvermittlung gegenseitig signalisiert. Es wird dabei gekennzeichnet, welcher Vermittlung eine Leitung zur Verfügung steht und ob sie tatsächlich belegt ist. Anrufe, die von der Betriebsvermittlung abgefragt werden, können unter gleichzeitiger Durchschaltung der Leitung an die Vermittlung der Nebenstellenanlage weitergegeben werden. Die Vermittlung der Nebenstellenanlage kann im umgekehrten Fall die Durchschaltung der Leitung aufheben und gleichzeitig die Signalisierung des Anrufes bei der Betriebsvermittlung neu veranlassen; sie ist jedoch nicht in der Lage, sich die Leitung selbst zuzuschalten.

Die Vermittlung der Nebenstellenanlage kann Verbindungen im Endverkehr zu den Teilnehmern der Nebenstellenanlage sowie Durchgangsverbindungen zwischen den Fernleitungen herstellen. Die Fernübertragungen und Fernverbindingssätze der Nebenstellenanlage sind so eingerichtet, daß unter gemeinsamer Benutzung von Rufübertragungen und Fernanrufsätzen durch die Betriebsvermittlung und die Vermittlung der Nebenstellenanlage

endverstärkter dämpfungsloser Durchgangsverkehr möglich ist. Zum Durchschalten der Fernleitungen durch die Vermittlung der Nebenstellenanlage dienen Koppelfelder aus Edelmetall-Schnellkontakt-Relais (ESK) [11]. Die Fernleitungen können von den Teilnehmern abgehend nicht selbsttätig belegt werden, da es sich in den einzelnen Richtungen um kleinste Leitungsbündel (meistens nur eine Leitung) handelt und deshalb für die Abwicklung des abgehenden Verkehrs auf diesen Leitungen das Gesprächsanmeldeverfahren die einfachste Speichermöglichkeit darstellt.

Ergänzungsausstattung

Durch Zusätze zur üblichen Nachtvermittlungseinrichtung wurde es möglich, die Vermittlung in den Nachtstunden unbesetzt zu lassen, ohne daß dabei die Gefahr einer Überlastung der Nachtvermittlungsstelle bei unerwartet eintretenden aktuellen Ereignissen besteht. Die Aufgaben der Nachtvermittlungsstelle übernimmt die durchgehend besetzte Nachrichtenaufnahme des Funkhauses, die mit vier Nebenanschlüssen ausgerüstet ist. An diesen Nebenanschlüssen werden u. a. die telefonischen Berichte der Korrespondenten des Bayerischen Rundfunks aufgenommen. Alle vier Nebenanschlüsse sind gleichzeitig Nachtvermittlungsstellen, denen jeweils ein EMD-Wähler in Anrufer-Schaltung zugeteilt ist. Das Kontaktvielfach der Wähler ist mit den Nachtvermittlungsanschlüssen der Amtsübertragungen über eine Art Teilnehmerschaltung verbunden, so daß gleichzeitig bis zu vier Gespräche von der Nachtvermittlung abgewickelt werden können.

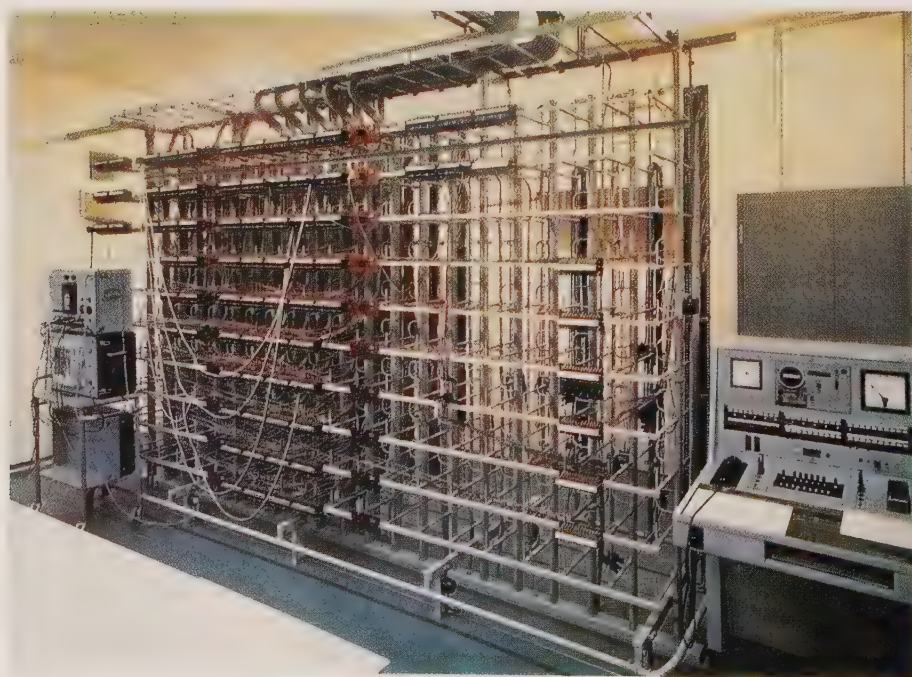


Bild 7 Hauptverteiler mit tragbarer Verkehrs-Meßeinrichtung und großem Prüfschrank

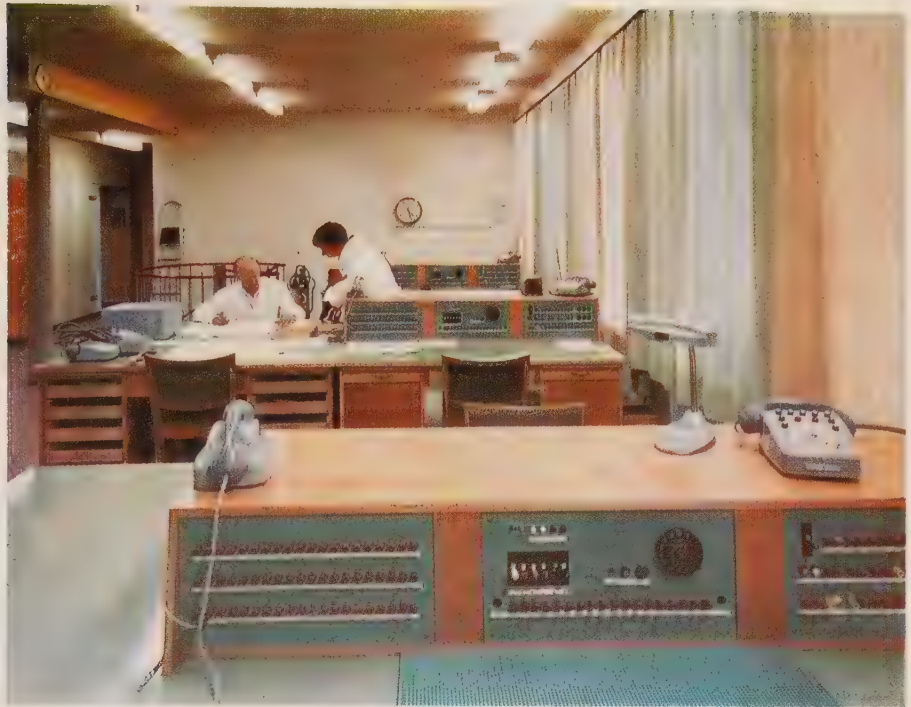


Bild 8 Werkstätte des
Fernmelde-Wartungsdienstes

Die Nebenstellenanlage wurde weiterhin mit 50 Hinweisübertragungen ausgerüstet, deren Eingänge bei vorübergehender Abwesenheit der Benutzer von Nebenanschlüssen durch Steckverbindungen am Hauptverteiler mit jedem Nebenanschluß verbunden werden können. Die 50 Hinweisübertragungen sind über einen Abfrage-Konzentrator – ähnlich wie die Nachtvermittlungsanschlüsse der Amtsübertragungen – auf fünf Abfrage-sätze am Melde-, Auskunfts- und Hinweisplatz geführt. Anrufe bei Nebenstellen, die auf Hinweis geschaltet sind, werden von der Vermittlung in ähnlicher Weise abgefragt und behandelt wie beim Fernsprechauftragsdienst des öffentlichen Fernsprechnetzes. Die auf Hinweisleitungen ankommenden Amtsanrufe können durch die Vermittlung an andere Nebenstellen weitergegeben werden.

Wartenden Amtsteilnehmern übermittelt ein Kurzansagegerät in 5-s-Abständen die Ansage »Bitte warten«, so daß solche Teilnehmer die Gewißheit haben, noch mit der Nebenstellenanlage verbunden zu sein. Außerdem erhält die Vermittlung ein Wiederanrufsignal, wenn eine durch sie hergestellte Amtsverbindung nach bestimmter Zeit nicht zum Ziele führt – sei es, daß sich die Nebenstelle nicht meldet oder daß sie besetzt bleibt.

Ein zweites Kurzansagegerät sendet nach Belegen des QGW im ankommenden Querverbindungsverkehr die Richtungsansage »Funkhaus München« im 2-s-Rhythmus. Die Ausstattung aller Anlagen des Querverbindungsnetzes mit Richtungsansage ist geplant und teilweise bereits durchgeführt (s. Tafel 1).

Um einzelne gemietete Nebenanschlußleitungen größerer Länge besser ausnutzen zu können, wurden in die Anlage zehn Übertragungen für Zweieranschlüsse so eingeplant, daß sie sich unabhängig von der Rufnummer anschließen lassen. Zehn Übertragungen für Rufweiter-schaltung sind zum bedarfsweisen Einschleifen in Nebenanschlußleitungen vorhanden, damit gegebenenfalls Anrufe, die eine Nebenstelle nicht beantwortet, selbsttätig zu einer anderen weitergeschaltet werden.

Wartung

Zur Rationalisierung der Wartung und Entstörung dient in erster Linie ein großer Prüfschrank (Bild 7). Über Steckverbindungen am Hauptverteiler können dorthin gleichzeitig maximal acht Einzelanschlüsse, ein Zweier-Anschlußpaar, eine Querverbindung und eine Durchwahl-Amtsübertragung geschaltet werden. Zum Messen und Prüfen der in Innen- und Außenleitung auftrennbaren Anschlüsse dienen mit den dazu notwendigen Klinken, Lampen, Schnurpaaren und Schaltern ein Ohmmeter, ein Impulszeitmesser, Nachbildungen für acht Einzelanschlüsse, einen Zweieranschluß und eine Querverbindungsübertragung, ferner ein Prüfgerät für Durchwahl-Amtsübertragungen. Der Anschluß eines tragbaren Impulsschreibers und eines Pegelsenders oder eines Pegelmessers ist möglich. Für Funktionsprüfungen an den Schaltgliedern der Anlage selbst sind Handprüfgeräte und zum Einstellen von Laufwerken eine Amtslehre und ein Schrittzahlprüfgerät vorhanden.

Die Werkstätte des Fernmelde-Wartungsdienstes (Bild 8) umfaßt sechs Arbeitsplätze mit Prüfeinrichtun-

gen für die Wartung und Entstörung aller vom Personal zu betreuenden Fernmeldegeräte, wie Fernsprecher, Uhren, Feuermelder usw. Da keine Notwendigkeit besteht, die Nebenstellenanlage ständig besetzt zu halten, sind die Störungssignale in der Werkstätte optisch und akustisch wiederholt.

Es wurde größter Wert auf den Einsatz von Organisationshilfsmitteln für eine übersichtliche Ordnung der notwendigen Betriebsunterlagen gelegt. Die Leitungs-, Einführungs- und Rufnummernunterlagen sind als Karteien angelegt, die Stromlauf- und Bauschaltpläne auf Karton aufgezogen und in Hängetaschen für Formate von DIN A 4 bis DIN A 0 geordnet; auch für die Stromlaufbeschreibungen ist eine Hängeregistratur bestimmt. Sämtliche Unterlagen werden von Stahlblechanrichten gleicher Höhe und Tiefe aufgenommen, die im Hauptverteilerraum Platz fanden.

Eine tragbare Verkehrs-Meßeinrichtung, bestehend aus einem Erlangmeter-Meßkoffer und einem Verkehrswert-Schreibdrucker (s. Bild 7) ermöglicht es, die wirtschaftliche Ausnutzung der einzelnen Schaltglieder und Leitungen laufend zu überwachen und rechtzeitig zu erkennen, ob infolge anwachsenden Verkehrs in einzelnen Bündeln Überlastungen zu erwarten sind.

Betriebserfahrungen

Der Umschaltung auf die neue Nebenstellenanlage am 27. November 1960 gingen umfangreiche Vorbereitungen voraus. Daran waren für die Amtsleitungen und Querverbindungsleitungen sowie die gemieteten posteigenen Nebenanschlußleitungen auch die Dienststellen der Deutschen Bundespost beteiligt, da mit der Umschaltung ein Standortwechsel des Hauptverteilers verbunden war. Infolge der guten Zusammenarbeit aller Beteiligten – Bundespost, Siemens & Halske und Bayerischer Rundfunk – verlief die Umschaltung reibungslos, obwohl beim größten Teil der Durchwahl-Amtsleitungen und Querverbindungsleitungen das Zusammenwirken der Übertragungen der Anlage mit den Gegenübertragungen vorher nicht geprüft werden konnte, weil keine genügende Reserve an Kabeladern vorhanden war, auf die man hätte ausweichen können.

Am ersten auf die Inbetriebnahme folgenden Werktag hatte die Anlage ihre Feuerprobe zu bestehen. Die bekannte Erscheinung, daß – offensichtlich veranlaßt durch den Reiz des Neuen – Wählvermittlungsanlagen unmittelbar nach dem Einschalten starken Verkehrsbelastungen ausgesetzt sind, wirkte sich so aus, daß der Stromverbrauch größer war als für die vollbeschaltete Anlage erwartet wurde, obwohl zunächst nur die von der alten Anlage übernommenen etwa 370 Nebenstellen angeschlossen waren. Außerdem reichten zeitweise die abgehenden Verkehrsmöglichkeiten nicht aus. Eigenartigerweise wurden an diesem Tag auch bedeutend mehr

abgehende Ferngespräche geführt als sonst. Trotz der starken Überlastung der Anlage ergaben sich nur geringfügige Erschwernisse, und bereits in den nächsten Tagen hatte sich der Verkehr auf das normale Maß eingespielt.

Die Störungen im weiteren Betrieb der Anlage, die durchweg keinen für den Teilnehmer spürbaren Einfluß auf den Betriebsablauf hatten, hielten sich in kleinstem Rahmen. Der aus sechs Personen bestehende Wartungsdienst für alle Fernmelde-Einrichtungen des Bayerischen Rundfunks brauchte nur um einen Mitarbeiter erweitert zu werden, obwohl nicht nur der Umfang der Nebenstellenanlage, sondern auch das Leitungsnetz und die Zahl der angeschlossenen Fernsprecher nahezu verdoppelt wurden.

Über einen langen Zeitraum und daher mit hoher statistischer Aussagesicherheit geführte Messungen an häufig belegten Amtsleitungen haben ergeben, daß bereits nach etwa sechs Monaten Betriebszeit 53% der ankommenden Amtsanrufe in Durchwahl abgewickelt wurden. Dieses Ergebnis kann als sehr befriedigend bezeichnet werden, wenn man bedenkt, daß durch die Eigenart des Rundfunkbetriebes immer ein großer Teil nichtgezielter und daher nicht in Durchwahl möglicher Anrufe von Rundfunkhörern verbleibt.

Endgültige statistische Angaben über den Erfolg des Einsatzes der Gebührenerfassungseinrichtung lassen sich verständlicherweise noch nicht machen, da hierfür eine längere Beobachtungszeit notwendig ist. Ein Vergleich der Monate Dezember 1960 bis einschließlich Juni 1961 mit den gleichen Monaten der Vorjahre zeigte jedoch bereits, daß die Kosten für Orts- und Selbstwählferngespräche nicht mehr gestiegen sind, obwohl in jüngster Zeit das zweite Fernsehprogramm dem Bayerischen Rundfunk wachsende Betriebsaufgaben und eine entsprechend steigende Beschäftigtenzahl brachte.

Schrifttum

- [1] Lucantonio, F.: Entwicklungsrichtungen neuzeitlicher Vermittlungssysteme. Frequenz 9 (1955) 339 bis 351
- [2] Hettwig, E.: Der Edelmetall-Motor-Drehwähler. Fernmeldetechn. Z. 6 (1953) 254 bis 261
- [3] Grohmann, W.: Große Wähl-Nebenstellenanlagen mit EMD-Wählern. Siemens-Zeitschrift 29 (1955) 85 bis 87
- [4] Hebel, M.: Selbst-Anschluß-Nebenstellen-Anlagen (SANA) mit unmittelbarem Amtsverkehr in beiden Richtungen. Zeitschrift für Fernmeldetechnik. Werk- und Gerätebau 7 (1926) 145 bis 150, 166 bis 173 und 184 bis 192
- [5] Merkle, E. und Wagner, Ph.: Durchwahl in Fernsprech-Nebenstellenanlagen. Der Städtetag (1960) 39 bis 43
- [6] Hofmann, H.: Betriebliche Gesichtspunkte für die Behandlung der Ferngesprächgebühren in Nebenstellenanlagen. Siemens-Zeitschrift 32 (1958) 192 und 193
- [7] Fath, W., Figur, S. und Kurz, W.: Die Technik der Gebührenerfassung in Fernsprech-Nebenstellenanlagen. Siemens-Zeitschrift 32 (1958) 194 bis 197
- [8] Ventz, J.: Automatische Gebührenerfassung in Großen Wähl-Nebenstellenanlagen. Siemens-Zeitschrift 34 (1960) 178 bis 180
- [9] Fischer, K.: Eine teilelektronische Identifiziereinrichtung für die Gebührenerfassung in Großen Wähl-Nebenstellenanlagen. Siemens-Zeitschrift 34 (1960) 146 bis 150
- [10] Kurz, W.: Die Technik der automatischen Gebührenerfassung in Großen Wähl-Nebenstellenanlagen. Siemens-Zeitschrift 34 (1960) 176 bis 178
- [11] Wilhelm, H. und Braumann, G.: Das Edelmetall-Schnellrelais. Siemens-Zeitschrift 31 (1957) 177 bis 179

Elektrische Ausrüstungen von Zuckerrohr-Möhlenanlagen

VON WERNER ROJEK

Der auf der ganzen Erde ständig steigende Zuckerbedarf wird etwa zur Hälfte von Rohrzuckerfabriken gedeckt. Die Hauptanbaugebiete für Zuckerrohr sind u. a. Kuba, ein Teil Süd- und Mittelamerikas, Indien, Australien, Puerto Rico, Hawaii, der Orient, Afrika und Indonesien. Das Rohr hat eine Wachstumszeit von 8 bis 20 Monaten, erreicht eine Höhe bis etwa 4 m, eine Dicke von 1 bis 5 cm und einen Zuckergehalt von 10 bis 16%.

Technologie

Eine Rohrzuckerfabrik wird unterteilt in die Rohrannahme und -förderung, in den Vorderbetrieb zum Verarbeiten des Rohres und zum Gewinnen von saccharosehaltigem Saft, in das Zuckerhaus zur Erzeugung des Zuckers und in das Zuckerlager sowie in einige Nebenbetriebe.

Das reife, geerntete Zuckerrohr führt man sofort der Verarbeitung zu, um die bei einer Lagerung auftretenden Zuckerverluste zu vermeiden. Es wird auf eine Transportanlage (Plattenband) entladen und von da über Schrägförderer zur Mahlanlage gebracht. Über dem Plattenband ist ein mit konstanter Drehzahl durchlaufendes Nivelliermesser angeordnet, das die Rohrschicht auf etwa gleiche Höhe nivelliert. (In einigen Fabriken ordnet man das Nivelliermesser auch erst nach den Rohrschneidern an.) Auf dem Förderer durchläuft das Material ferner einen bis drei Rohrschneider (Macheten), die das Rohr zerkleinern und weiter nivellieren, so daß den Möhlen eine gleichmäßige Schicht zerkleinerten Zuckerrohres (Caña) zugeführt wird. Bei schlechter Beschickung der Transportanlage oder ungleichmäßiger Nivellierung treten kurzzeitige Überlastungen der Macheten auf (Bild 1). An der höchsten Stelle der Transportanlage, dem Rohrförderkopf, von wo aus die Caña anschließend der Mahlanlage zugeführt wird, steht ein Bedienungspult. Eine Kontrollperson überwacht von hier aus die Rohrförderung und verringert bei Laststößen auf die Rohrschneider oder bei Materialanhäufungen vor der ersten Möhle sofort die Bandgeschwindigkeit. Für den drehzahlgesteuerten Antrieb des Hauptrohrförderers wird zweckmäßigerweise ein Drehstrom-Kommutatormotor oder Gleichstrommotor verwendet, wobei dem erstgenannten der Vorzug zu geben ist. Eine automatische Drehzahlregelung des Förderers ist in Abhängigkeit von der Machetenbelastung und der Niveauhöhe vor der ersten Möhle möglich.

Bei manchen Anlagen wird vor die erste Möhle noch ein Brechwerk (Crusher) oder ein Reißwerk (Shredder) geschaltet, um das Rohr noch weiter zu zerkleinern.

Das Kernstück des Vorderbetriebes ist die Zuckerrohr-Möhlenanlage (Bilder 2 und 3). Sie besteht im wesentlichen aus fünf oder sechs Triowalzen, die hintereinandergeschaltet sind und das Rohr je nach Möhlengröße bei Drücken von 100 bis 500 t auspressen. Die Möhlen, die über Übersetzungsgetriebe und Vorgelege angetrieben werden, arbeiten bei niedrigen Drehzahlen zwischen 2,5 und 6 U/min. Der Rohrtransport zwischen den einzelnen Triowalzen geschieht über Zwischentransporteur. Nach dem Auspressen fällt das Rohr, jetzt Bagasse genannt, auf Förderer, die es der Weiterverwertung – entweder zur Befeuerung der Kessel oder zur Papier- oder Preßplattenherstellung – zuführen.

Der in den einzelnen Möhlen ausgepreßte Saft wird unterhalb der Möhlen aufgefangen und im Gegenstromverfahren auf das in die jeweils vorgeschaltete Möhle eintretende Cañabett gesprüht, um eine bessere Auspressung zu erreichen. Zur Erhöhung der Zuckerausbeute und Verminderung des Gehaltes an Restsaccharose in der Bagasse wendet man häufig das Imbibitionsverfahren an. Hierbei wird dem Cañabett zum besseren Ausscheiden der noch im Rohr vorhandenen Zuckersubstanzen vor Eintritt in die letzte Möhle Wasser zugesetzt. Die Zuckerausbeute steigt außerdem noch mit der Anzahl der hintereinandergeschalteten Walzentrios.

Die Güte einer Möhlenanlage ist besonders durch drei Faktoren gekennzeichnet:

1. Restsaccharose in der Bagasse
2. Endfeuchte der Bagasse nach Austritt aus der letzten Möhle
3. Mahlleistung in Tonnen je Stunde

Das zu verarbeitende Zuckerrohr ist in den einzelnen Ländern sehr verschieden und unterliegt ferner witterungsbedingten Wachstumsunterschieden in den einzelnen Jahren. Die Möhlen sind daher veränderbar und werden in den Drücken, Geschwindigkeiten und freien Durchgangsquerschnitten der Triowalzen dem jeweiligen Produkt angepaßt.

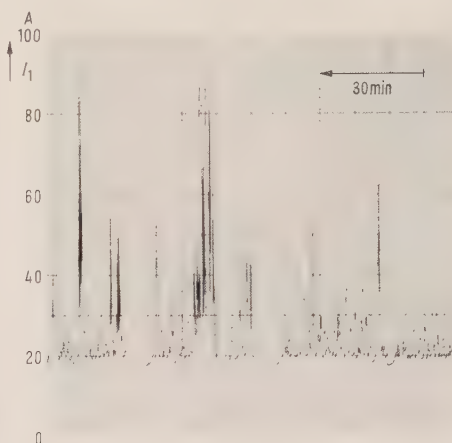
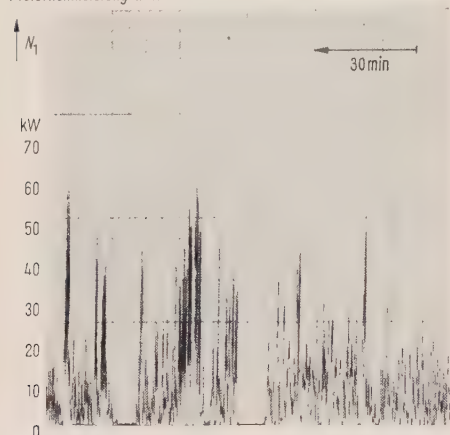
In gewissen Zeitabständen müssen die Walzenoberflächen, die verschieden profiliert sind und sich durch die

Mahlarbeit und die ständige Safteinwirkung abnutzen, nachprofiliert oder vollkommen erneuert werden. Es müssen deshalb Mühlen mit unterschiedlichen Walzendurchmessern miteinander arbeiten können.

Da bei den letzten Triowalzen meistens eine kleinere Profilierung gewünscht wird und ferner eine Erhöhung des Preßdrucks zum Ende der Mahlanlage hin zweckmäßig ist (wodurch sich der freie Durchgangsquerschnitt zwischen den Walzen verringert und der Schlupf zwischen Cañabett und Walzen vergrößert), scheint es in

diesen Fällen zur Beibehaltung der Mahlleistung ratsam, die gesamte Mühlenanlage mit einer abgestuften, zum Ende hin steigenden Drehzahl zu betreiben. Der Drehzahlunterschied zwischen der ersten und der letzten Mühle kann zwischen 0,4 und 1 U/min betragen. Die Einstellung der Triowalzen in den einzelnen Fabriken ist jedoch sehr unterschiedlich, und so kommt es auch vor, daß Anlagen mit durchweg gleichbleibender oder sogar zum Ende hin fallender Drehzahl betrieben werden. Bei den folgenden Untersuchungen wird nur auf die übliche Betriebsweise mit steigend gestufter Drehzahl der

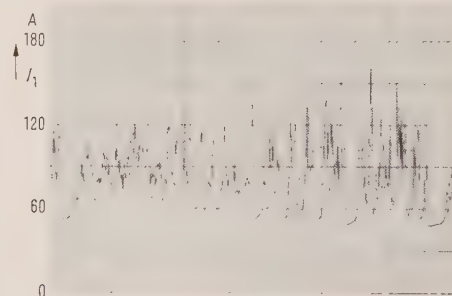
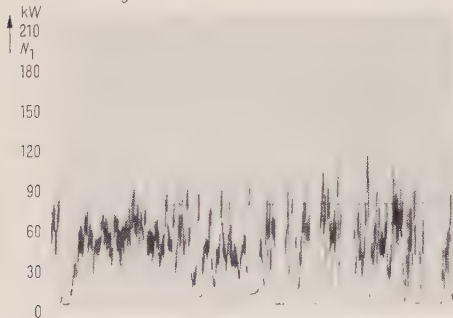
Motorleistung 20 kW



Rohrschneider I

Bei der gemessenen Testanlage ist der Rohrschneider I hauptsächlich als Nivelliermesser eingesetzt. Bei schlechter Beschickung der Transportanlage treten größere Lastenstöße auf. Der Antrieb darf daher nicht zu klein bemessen sein.

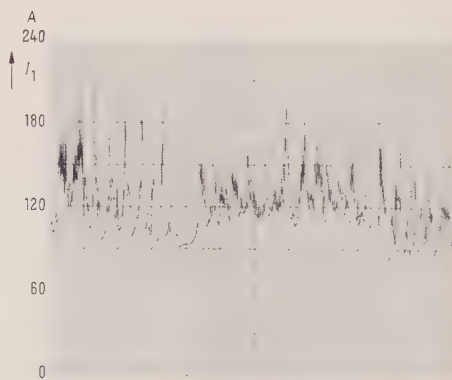
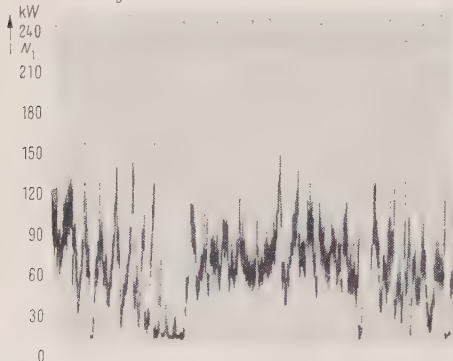
Motorleistung 115 kW



Rohrschneider II

Der Strom- und Leistungsverlauf für den Rohrschneider II zeigt, daß bei diesem Antrieb nur mit geringen Lastspitzen zu rechnen ist.

Motorleistung 105 kW



Rohrschneider III

Obwohl die Schneidtiefe der Machete III mit etwa 160 mm gegenüber Machete II mit etwa 200 mm kleiner ist, treten beim Rohrschneider III größere Laststöße auf.

Bild 1 Strom- und Leistungsmeßstreifen von Rohrschneider-Antrieben vor Einsatz einer automatischen Transportbandregelung

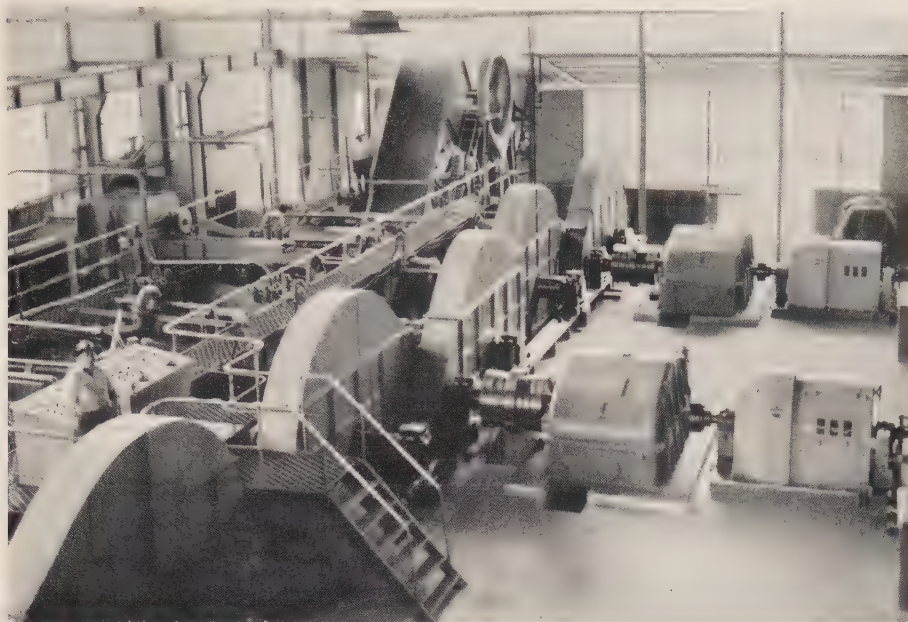


Bild 2 Zuckerrohr-Mühlenanlage mit Elektroantrieben und Fernsteuerung

einzelnen Mühlen eingegangen, wobei mit einer Differenzdrehzahl zwischen der ersten und der letzten Mühle (bezogen auf gleiche Walzendurchmesser) von etwa 0,4 bis 1 U/min gerechnet werden kann.

Bei Mühlenanlagen unterscheidet man aus den genannten Gründen zwischen einer Sammelsteuerung zum Einstellen der für die gesamte Mühlenanlage gemeinsamen Grunddrehzahl und der Einzelverstellung. Durch das Einstellen der Grunddrehzahl, für das ein Bereich von etwa $\pm 25\%$ ausreicht, wird die Anlage der Rohrqualität und der geforderten Mahlleistung angepaßt. Hauptaufgabe bei der Einzelverstellung ist es, die unterschiedlichen Walzendurchmesser auszugleichen und die zum Ende hin steigende (oder fallende) Drehzahlstufung zu berücksichtigen; hier genügt ein zusätzlicher Bereich von etwa $\pm 10\%$ der jeweiligen Grunddrehzahl.

Werden diese beiden Stellbereiche zusammen berücksichtigt, so können die Vorgelege, Getriebe und Antriebsmaschinen völlig gleich bemessen werden, wobei ein Teil der Maschinen durch den zu großen und nicht ausgenutzten Steuerbereich etwas überdimensioniert ist. Mit unterschiedlichen Vorgelegen und Motorleistungen könnte zwar der Einzelsteuerbereich kleiner gehalten und von 1 : 2,36 auf 1 : 1,7 eingeschränkt werden, dies ist jedoch aus betriebstechnischen Gründen (Reservehaltung, oftmaliges Anpassen der Vorgelege bei Änderung der Walzendurchmesser usw.) nicht zu empfehlen. Da es außerdem beim Einfahren der Mühlenanlage zweckmäßig ist, die Betriebsdrehzahlen möglichst niedrig zu halten, wird man ohnehin einen Gesamtstellbereich von 1 : 3 wählen und deshalb durchweg gleiche Vorgelege und Motoren verwenden (Einschränkungen werden noch erwähnt). Die Motorleistungen müssen den

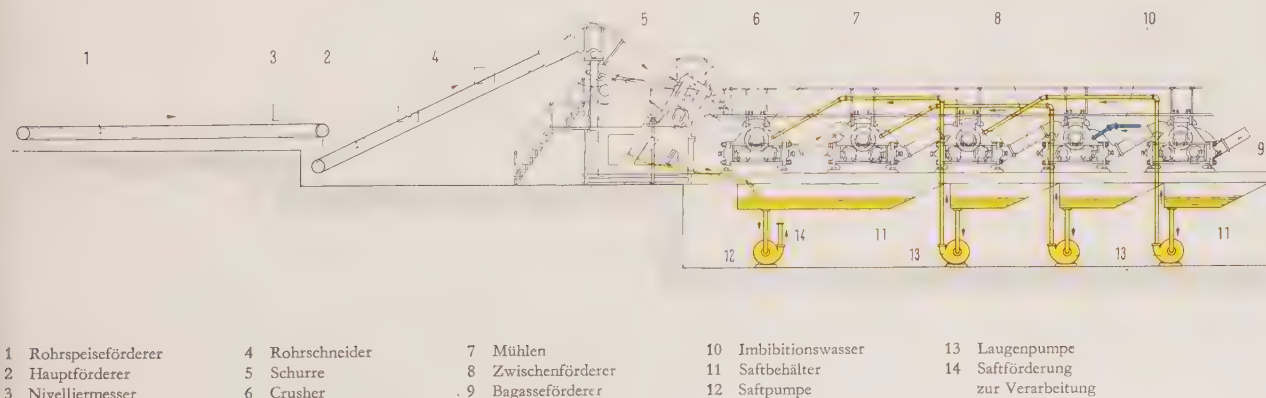


Bild 3 Grundsätzliche Darstellung einer Zuckerrohr-Mühlenanlage

zum Ende einer Anlage hin steigenden Preßdrücken und Drehzahlen angepaßt sein. Daraus folgt, daß die Antriebe für konstantes Moment auszulegen sind, wobei die Motorleistung verhältnismäßig mit der Drehzahl steigt.

Außer den bereits geschilderten Arbeitsbedingungen sind beim Auslegen einer Mühlenanlage noch einige Besonderheiten zu berücksichtigen:

Mühlen, die nach dem Imbibitionsverfahren arbeiten, neigen zu Verstopfungen. Gemeint ist hiermit ein leeres Durchdrehen der Mühlen ohne Mitnahme des Cañabettes, das sich dann vor der Triowalze staut, durch das nachgeschobene Bett verstärkt wird, sich überrollt und die gesamte Walze überdecken kann. Zur Beseitigung ist es zweckmäßig, die Walze mit einer gleichbleibenden Drehzahl rückwärts laufen zu lassen. Das gleiche trifft zu, wenn ein Fremdkörper in die Mühle kommt und entfernt werden muß. Entweder muß der Hauptantrieb für Rückwärtslauf eingerichtet oder an das Getriebe ein Hilfsantrieb angebaut sein. Da hierbei der Druck von der Mühle genommen wird und die Triowalze leer läuft, kann der Hilfsantrieb für geringe Leistung (etwa 30 bis 50 kW) bemessen sein. Nachgearbeitete oder neue Walzen läßt man meistens im eingebauten Zustand einlaufen; dies erfordert für jede Mühle eine Langsamdrehvorrichtung. Bei geeigneter Ausgestaltung kann der Hilfsantrieb für diesen Zweck mit verwendet werden.

Während des Betriebes können Laststöße vom 1,5- bis 4,5fachen Nennmoment auftreten, die z.T. mit Axialschüben verbunden sind. Die Kuppelglieder zwischen Vorgelege, Getriebe und Hauptantrieb müssen gewährleisten, daß keine Axialschübe auf die Antriebsmaschine übertragen werden können.

Gesteuert wird die Mühlenanlage über ein Schalterpult, von dem aus sowohl die Einzelsteuerung der Walzen als auch die Sammelsteuerung der gesamten Anlage möglich ist. Das Pult muß ferner die erforderlichen Kontrollgeräte für Drehzahl, Leistungsverbrauch und Fehlermeldung aufnehmen und Befehlsgeräte zum Steuern und Überwachen der Hilfsantriebe enthalten. Wenn fernbetätigte Schieber für das Imbibitionswasser vorhanden sind, so ist im Pult auch die Steuerung für diese Hilfseinrichtungen unterzubringen, da der Betriebsmann von diesem über den Walzen angeordneten Leitstand aus die gesamte Station überblicken und Stauungen des Gutes sowie Unregelmäßigkeiten sofort erkennen kann.

Antriebsarten

Viele Rohrzuckerfabriken haben eigene Zuckerrohrfelder und andere Ländereien (Haziendas) mit ausgedehnten Bewässerungsanlagen und landwirtschaftlichen Nebenbetrieben. In zunehmendem Maße benötigen auch diese Anlagen elektrische Energie.

Außerdem steigt meistens der Energiebedarf bei Erneuerung (Rationalisierung) und Erweiterung der Fabrikanlagen. Dadurch wird dann schließlich auch die Vergrößerung der Kraftzentralen notwendig.

Die Dampfkessel der Energieerzeugungsanlagen werden fast ausschließlich mit Bagasse beheizt. Dieses Material dient aber neuerdings immer mehr auch als Ausgangsprodukt zur Papier- und Preßplattenherstellung. Beim Umbau oder bei der Erweiterung von Kraftzentralen wird man deshalb möglichst solche Anlagenteile aufstellen, die mit geringeren Bagassemengen je erzeugter Energieeinheit (Dampf- oder elektrische Energie) arbeiten als bisher üblich. Man wird dabei gegebenenfalls auf größere Maschinensätze übergehen, die bei höheren Drücken niedrigere Dampfverbrauchszahlen und bessere Wirkungsgrade aufweisen als die bisher verwendeten Dampfmaschinen und Kleinturbinen.

Mühlenantriebe werden als Tandemantriebe (d.h. mit einem gemeinsamen Antrieb für zwei Mühlen und Drehzahlausgleich über die zugehörigen Vorgelege) oder als Einzelantriebe montiert. Bei Verwendung von Elektromotoren als Mühlenantriebe ergeben sich gegenüber anderen Antrieben u.a. folgende Vorteile:

1. Geringere Anlagekosten, da keine umfangreichen baulichen Vorarbeiten erforderlich sind und die Montage einfach ist
2. Geringerer Platzbedarf, kleine Fundamente, gute Übersichtlichkeit
3. Wegfall der Dampfleitungen
4. Verringerung des Dampfverbrauches bei Verwendung eines großen Turbosatzes mit niedrigerem Dampfverbrauch anstelle mehrerer Kleinturbinen oder Dampfmaschinen mit hohem Dampfverbrauch
5. Einfache Drehzahlsteuerung und -regelung mit kurzen Regelzeiten bei Laststößen
6. Rückwärtslauf zum Beseitigen von Verstopfungen (Dies ist zwar auch bei Turbinen durch Einbau eines Curtistrades möglich, jedoch ergibt sich dadurch eine dauernde Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrades im Normalbetrieb).
7. Einfache und betriebssichere Fernsteuerung, bei Wahl eines geeigneten Antriebes annähernd verlustlose Drehzahlsteuerung und gute Gesamtwirkungsgrade über den ganzen Steuerbereich.

Schon vor etwa 35 Jahren haben einige Rohrzuckerfabriken diese Vorteile erkannt und ihre Mühlen mit Gleich- oder Drehstrommotoren ausgerüstet.

Die Vielzahl der verwendbaren Motorarten erfordert jedoch einen Vergleich der Steuerungsarten, um den wirtschaftlichsten und zweckmäßigsten Antrieb zu ermitteln.

Gleichstrommotoren

Da sich bei Gleichstrom die Motordrehzahlen etwa proportional der Ankerspannung und umgekehrt proportio-

nal dem Feld ändern, werden bei Gleichstromantrieben vier Steuerungsarten, die alle annähernd verlustlos arbeiten, miteinander verglichen. Die stark verlustbehaftete Steuerung durch Zu- und Abschalten von Vorwiderständen wurde in die Untersuchung bei Gleichstromanlagen nicht mit einbezogen. Die vier Steuerungsarten sind:

1. Drehzahlsteuerung durch Ändern der Ankerspannung (Leonardschaltung)
2. Drehzahlsteuerung durch Feldänderung
3. Drehzahlsteuerung durch Kombination der Steuerungsarten 1 und 2
4. Drehzahlsteuerung durch Zu- und Gegenschaltung

Zu den Steuerungsarten ist im einzelnen folgendes zu bemerken:

Fall 1 (Bild 4): Durch Änderung der vom Steuergenerator des Leonardsatzes gelieferten Spannung ändert sich auch die Ankerspannung. Man erhält eine Drehzahlsteuerung, die bei allen Antrieben und damit allen Mühlen den gleichen Prozentsatz aufweist und das Drehzahlverhältnis nicht ändert. Diese Steuerungsart ist daher nur für die Sammelsteuerung anzuwenden. Die Einzelverstellung kann durch Wahl entsprechender Vorgelege berücksichtigt werden. Eine wirkliche Einzelsteuerung ist hierbei nicht möglich.

Fall 2 (Bild 5): Vom normalen Feld ausgehend, ist nur Feldschwächung und damit Drehzahlerhöhung möglich. Der Mühlenmotor muß daher schon in der Grunddrehzahl mit geschwächtem Feld arbeiten, um durch Feldverstärkung bis zum Normalwert auch eine Drehzahlseinkung ermöglichen zu können. Die Sammelsteuerung kann durch mechanische Kupplung sämtlicher Nebenschlußsteller der Motoren erzielt werden. Die Motoren müssen dabei möglichst gleiche Betriebskennlinien und die Steller gleiche Widerstandskurven haben, damit sich bei den Steuervorgängen die Drehzahlen aller Motoren im gleichen Verhältnis ändern. Durch Feldänderung ist sowohl Sammel- als auch Einzelverstellung möglich. Die Abgabe eines konstanten Momentes in einem großen Steuerbereich – wobei auch bei maximaler Drehzahl, d. h. kleinstem Feld, noch eine Überlastung möglich sein muß – setzt eine starke Überdimensionierung der Maschinen voraus.

Fall 3 (Bild 6): Eine Kombination der Steuerungsarten 1 und 2 bietet die größten Vorteile. Die Sammelverstellung wird durch Ändern der Ankerspannung (s. Fall 1) für alle Maschinen gemeinsam erreicht. Die zum Ausgleich der Walzendurchmesser und zur Drehzahlstufung notwendige Einzelsteuerung wird über die Änderung des Erregerfeldes vorgenommen. Die Motoren können daher bei Anwendung der Feldschwächung für einen kleineren Steuerbereich ausgelegt werden, wodurch sich kleinere Motortypen als im Fall 2 ergeben.

Die Drehzahlsteuerung läßt sich mit Hilfe mehrerer Steuergeneratoren weiter verbessern. Diese können dort verwendet werden, wo die Drehzahlstufung erhebliche Drehzahlunterschiede zwischen den einzelnen Walzen ergibt. In diesem Fall werden je zwei oder drei Antriebe zu einer Gruppe zusammengefaßt und an je einen Steuergenerator gelegt, der für die Gruppe die Spannung steuert. Die Einzelverstellung geschieht durch Feldschwächung. Durch die Aufteilung der Mühlenanlage auf zwei oder drei Steuergeneratoren tritt die Einzelverstellung durch Feldschwächung nur wenig in Aktion und die Maschinen können annähernd mit vollem Feld betrieben werden. Dies ermöglicht, wie bereits erwähnt, die Wahl

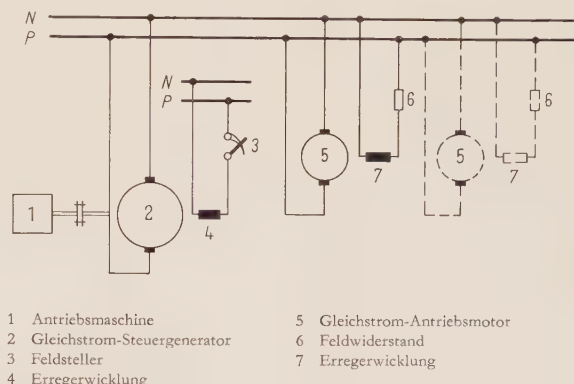


Bild 4 Grundsaltung einer Drehzahlsteuerung durch Ändern der Ankerspannung (Leonardschaltung)



Bild 5 Grundsaltung einer Drehzahlsteuerung durch Feldänderung

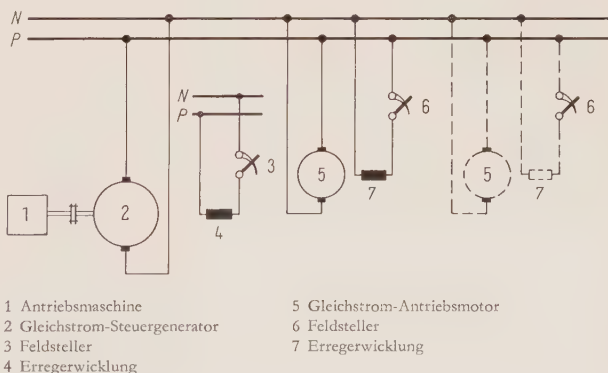
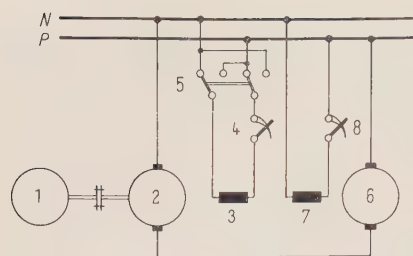


Bild 6 Grundsaltung einer Drehzahlsteuerung durch Ändern der Ankerspannung und Feldänderung



- | | |
|---|---|
| 1 Antriebsmaschine für den
Zu- und Gegenschaltungs-Generator
(Gleich- oder Drehstrom) | 4 Feldsteller |
| 2 Zu- und Gegenschaltungs-Generator
(Gleichstrom) | 5 Umschalter zum Ändern der Polarität
an der Erregerwicklung |
| 3 Erregerwicklung | 6 Gleichstrom-Antriebsmotor |
| | 7 Erregerwicklung |
| | 8 Feldsteller |

Bild 7 Grundsätzliche Anordnung einer Zu- und Gegenschaltung

kleineren Motoren. Außerdem können dann sämtliche Mühlen mit gleichen Vorgelegen bestückt werden.

Fall 4 (Bild 7): Soll die Anlage mit Sammelsteuerung durch Spannungsänderung betrieben werden und ist für die Mühlenanlage kein besonderer Generator vorhanden, sondern die Station mit an das Gleichstromnetz der übrigen Fabrik angeschlossen, so muß auf das Steuern durch Zu- und Gegenschaltung übergegangen werden.

Der Anker des Mühlenmotors ist, in Reihe mit dem Generatoranker eines Zusatzaggregates, an das Gleichstromnetz geschaltet. Durch Verstärkung des Feldes im Zusatzgenerator steigt die Betriebsspannung für den Mühlenmotor, so daß sich als Folge der »Zuschaltung« eine höhere Drehzahl einstellt. Wird, ausgehend von der Grundstellung des Nebenschlußstellers, das Feld des Zusatzgenerators umgepolt und anschließend ebenfalls eine Feldverstärkung vorgenommen, so sinkt die Betriebsspannung des Mühlenantriebes infolge der »Gegenschaltung« von Generator und Mühlenmotor und eine kleinere Drehzahl stellt sich ein. Bei Zuschaltung arbeitet das Zusatzaggregat als Generator, bei Gegenschaltung als Motor. Für den Betrieb bei Zu- und Gegenschaltung müssen die Maschinen für die maximale Betriebsspannung, d.h. für Netzspannung plus Zusatzspannung vom Hilfsgenerator, ausgelegt sein. Der Zusatzgenerator ist für den gleichen Strom zu bemessen wie der Mühlenmotor. Es besteht auch die Möglichkeit, alle Mühlenmotoren an eine Zu- und Gegenschaltungs-Maschine anzuschließen, wobei der Zusatzgenerator dann für die Summe aller Motorströme bemessen werden muß. Als Leistung entfällt auf ihn nur der Anteil

$$\frac{\text{Zusatzspannung}}{\text{Gesamtspannung}} \times \text{Motorleistung}$$

Drehstrommotoren

Bei Verwendung von Drehstrommotoren besteht die Möglichkeit, Schleifringläufer- oder Kommutatormotoren zu wählen. Die ersten vier der folgenden Möglichkeiten beziehen sich auf Schleifringläuferantriebe, die letzte auf Kommutatormotoren:

1. Drehzahlsteuerung durch Ändern der Läuferwiderstände
2. Drehzahlsteuerung durch Ändern der Netzfrequenz und der Netzspannung
3. Drehzahlsteuerung durch Kombination der Steuerungsarten 1 und 2
4. Drehzahlsteuerung durch Hintermaschinen
5. Drehzahlsteuerung durch Kommutatormotoren mit Bürstenverschiebung

Im einzelnen ist zu bemerken:

Fall 1: Durch Vorschalten von Widerständen im Läuferkreis ist nur eine Drehzahlminderung möglich. Mit zunehmendem Widerstandswert verliert der Motor jedoch das Nebenschlußverhalten, d.h., die Drehzahl wird stark belastungsabhängig. Da im Mühlenbetrieb die Belastung häufig zwischen 0 und Überlast schwankt, ließe sich eine nahezu gleichbleibende Drehzahl nur durch dauerndes Zu- und Abschalten der Widerstände erreichen; dieses Verfahren ist aber für die Praxis ungeeignet. Diese Steuerungsart arbeitet außerdem mit großen Verlusten und sollte deshalb allein (ohne Kombination mit einer anderen) im Zuckerrohr-Mühlenbetrieb, bei dem häufig die Drehzahl geändert werden muß, nicht eingesetzt werden. Auch ist die Unterteilung in Einzel- und Sammelsteuerung in der Schaltung der Vorwiderstände kaum durchführbar.

Fälle 2 und 3: Ist ein besonderer Turbosatz für die Mühlenanlage vorhanden, so kann durch Ändern der Frequenz gesteuert werden. Verhältnismäßig mit der Frequenz muß auch die Spannung geändert werden. Da hierzu die Erregerspannung konstant bleiben muß, kann bei einem Turbosatz für Frequenzsteuerung keine angebaute Erregermaschine verwendet werden; statt dessen ist ein getrennter, mit konstanter Drehzahl laufender Erregermaschinensatz erforderlich.

Bei einer frequenzgesteuerten Anlage ist zu berücksichtigen, daß sich umgekehrt proportional mit der Frequenzänderung der Motorschlupf ändert und daher die eingestellte Drehzahlstufung der Einzelsteuerung nicht unverändert bleibt. Als Ausgleich muß über Läuferwiderstände eine Einzelnachverstellung vorgenommen werden. Die Frequenzsteuerung allein ist demnach nur für die Sammelverstellung anzuwenden, wogegen die Einzelsteuerung durch Verändern der Läuferwiderstände möglich ist.

Da sowohl bei sinkender als auch bei steigender Frequenz der Dampfverbrauch der Turbine größer wird, ist die Steuerung trotz des über den ganzen Bereich verhältnismäßig guten Wirkungsgrades des Mühlenmotors mit Verlusten verbunden.

Fall 4: Eine Drehzahlsteuerung, die mit sehr geringen Verlusten arbeitet, jedoch einigen Aufwand erfordert,

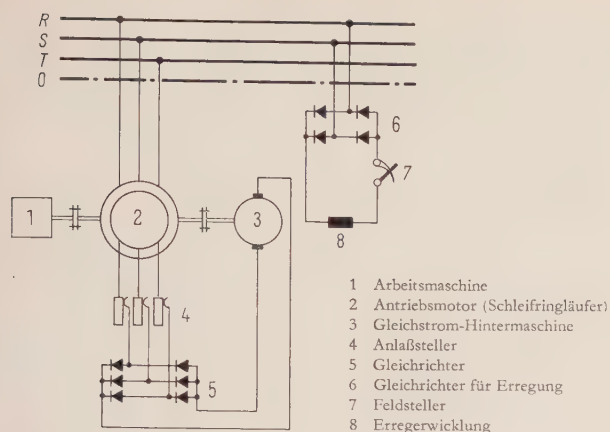


Bild 8 Anordnung eines »Rectiflow-drive«

erhält man mit Hilfe von Kaskadenschaltungen. Von der Vielzahl derartiger Schaltungen soll nur die hier bemerkenswerteste beschrieben werden, die im Schrifttum als »Rectiflow drive« bezeichnet wird (Bild 8):

Als Mühlenantrieb wird ein Schleifringläufermotor verwendet. An die Schleifringe wird die Drehstromseite eines Gleichrichters angeschlossen. Die Drehstromschlupfleistung des Mühlenmotors wird dadurch in Gleichstromleistung umgewandelt und in dem an der Gleichstromseite des Gleichrichters angeschlossenen Gleichstrommotor nutzbringend verwertet. Die Hintermaschine ist mit der Welle des Hauptmotors gekuppelt. Gesteuert wird durch Änderung des Feldes der Hintermaschine. Mit steigendem Feld steigt ihre Ankerspannung. Die Drehzahl des über den Gleichrichter verbundenen Hauptmotors muß dann so weit von der Synchrodrehzahl abweichen, bis seine Schlupfspannung mit der Gleichrichterspannung ins Gleichgewicht kommt.

Fall 5: Der zur Drehzahlsteuerung am besten geeignete Drehstromantrieb ist der Kommutatormotor. Für die benötigten Leistungen kommen der ständergespeiste Drehstrom-Nebenschluß- und der Drehstrom-Reihenschlußmotor in Betracht. Der Nebenschlußmotor erscheint zunächst geeigneter, da er das technologisch geforderte Nebenschlußverhalten hat. Die Gesamtschaltung ist jedoch wesentlich aufwendiger und teurer als beim Drehstrom-Reihenschlußmotor. Der preiswerteren Reihenschlußmaschine ist daher der Vorzug zu geben. Es ist nur nötig, den Antrieb durch eine Regeleinrichtung zum Nebenschlußverhalten zu bringen. Dieser Gedanke enthält nichts Ungewöhnliches, da auch Turbinen, Dampfmaschinen und alle Verbrennungsmotoren zu nächst Reihenschlußverhalten aufweisen und erst durch Regelemente eine Nebenschlußcharakteristik erhalten. Ein wesentlicher Vorzug des im Aufbau kaum vom ständergespeisten Nebenschlußmotor zu unterscheiden den Reihenschlußmotors ist es, daß er ohne Anlasser angefahren werden kann und voll steuerbar ist. Dabei ist

sowohl ein Sanftanlauf als auch ein Anfahren gegen mehrfaches Nennmoment möglich. Zwischen dem Ständer und dem in Reihe geschalteten Läufer des Reihenschlußmotors sind Zwischenumspanner eingebaut. Sie ermöglichen es, den Kommutator für das günstigste Strom-Spannungs-Verhältnis zu bemessen. Außerdem bringen sie den Vorteil einer weiteren Stabilisierung der Drehzahlkennlinie und damit bessere Regelbarkeit. Zu jedem Bürstenwinkel gehört eine bestimmte Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie. Die Kennlinie verläuft so, daß bei Verschiebung der Bürstenbrücke zur Kurzschlußstellung hin sowohl die Drehmomente im Lauf als auch das Anfahrmoment zunehmen.

Der Drehzahlsteuerbereich kann im Dauerbetrieb bei entsprechender Bemessung bis 1 : 3 ausgedehnt werden, ohne daß durch die Steuerung Verluste entstehen. Mit diesem Bereich wird sowohl die Sammel- als auch die Einzelsteuerung erfaßt. Normalerweise kann im Steuerbereich 1 : 2 dauernd das volle Nennmoment und bei der weiteren Abwärtssteuerung bis zu $\frac{1}{3}$ der Nenndrehzahl das 0,75fache des Nennmomentes abgegeben werden. Die Anlaufströme sind im Vergleich mit anderen Drehstrommotoren klein. Bereits bei annähernd Nennstrom ist ein Vollastanlauf möglich. Größere Anzugsmomente bis etwa zum doppelten Nennmoment sind durch Vorwärtücken der Bürstenbrücke zu erreichen. Bei Festlegung eines geeigneten Bürstenwinkels für die Anfahrtstellung läßt sich der Motor mit einfachen Mitteln für Vorwärts- und Rückwärtslauf schalten, wie es zum Ausräumen einer verstopften Mühle erforderlich ist.

Zur Drehzahlsteuerung und -regelung ist an die Bürstenbrücke ein Regler angebaut, der den über ein Potentiometer vorgegebenen Sollwert mit der Ist-Drehzahl des Motors vergleicht und bei Unstimmigkeit die Bürstenbrücke nachregelt.

Stromart und Spannungsquelle

Bei den beschriebenen Antriebsarten wurde die Art der Spannungsquelle unberücksichtigt gelassen. Sollen Gleichstromantriebe verwendet werden, so dürfte die einfachste Lösung die getrennte Aufstellung eines vollständigen Gleichstrom-Turbosatzes für die Mühlenanlage sein. Ist ein Drehstromnetz vorhanden, so können die Gleichstrom-Mühlenmotoren entweder über gittergesteuerte Quecksilberdampf-Gleichrichter, Silizium-Gleichrichter mit Transduktorstuerung oder über Leonardumformer gespeist werden. In Zukunft könnten auch gesteuerte Silizium-Stromtore Bedeutung erhalten.

Die bekannteste, einfachste und preiswerteste Art ist die Bestückung mit gittergesteuerten Quecksilberdampf-Gleichrichtern. Sie sind weitgehend überlastbar, einfach zu steuern und ermöglichen es, die Anlage unter Vollast vom Stillstand aus langsam hochzufahren. Die Aufstellung solcher Gefäße ist jedoch in Zuckerrohr-Mühlanlagen nicht immer möglich. Werden Quecksilber-

dampf-Gleichrichter aus Betriebsgründen abgelehnt, so kann auf Silizium-Gleichrichtergeräte übergegangen werden, die über Transduktoren arbeiten.

Sowohl bei Quecksilberdampf- als auch bei Silizium-Gleichrichtern kann für die gesamte Mühlenanlage eine einzige große Einheit oder je Mühlenmotor eine kleine Einheit verwendet werden. Das gleiche gilt auch für die Zusatzgeräte, wie Transformatoren usw. Mit Hilfe der Gittersteuerung am Quecksilberdampf-Gleichrichter oder der Transduktorsteuerung des Silizium-Gleichrichters ist eine Sammelsteuerung durch Spannungsänderung möglich. Die Einzelverstellung kann über das Erregerfeld des Mühlenmotors vorgenommen werden.

Sollen Drehstrommotoren verwendet werden, so muß entweder auf eine Steuerungsart übergegangen werden, die mit einer festen Netzfrequenz auskommt, so daß die Mühlenanlage an das Fabriknetz gelegt werden kann, oder es muß bei Frequenzsteuerung ein besonderer Turbosatz aufgestellt werden.

Vergleich der Steuerungsarten

Bei einem Vergleich der Steuerungsarten ist von wesentlicher Bedeutung, in welchen Grenzen und wie häufig eine Drehzahländerung als Sammel- und Einzelverstellung vorkommt. Bei den einzelnen Zuckerrohranlagen können diese Bedingungen sehr unterschiedlich sein. Wird die Drehzahl nur selten und in kleinen Grenzen geändert, so kann eine mit Verlusten arbeitende Steuerung bei richtiger Bemessung der Motoren wirtschaftlicher sein als eine verlustlose Steuerung mit einem großen, nicht ausgenutzten Bereich. Ist wegen der ständig wechselnden Rohrbeschaffenheit häufiges Steuern – gegebenenfalls sogar innerhalb großer Grenzen – notwendig, so muß eine möglichst verlustlose Steuerungsart gewählt werden. Da diese Fälle in der Praxis überwiegen, werden die weiteren Untersuchungen hierauf abgestimmt.

Gleichstrom

Die Drehzahlsteuerung durch Spannungsänderung ist unvollkommen, da sie nur die Sammelverstellung berücksichtigt und die Anpassung durch Einzelsteuerung auf die mechanische Seite verlegt. Bei einer reinen Feldänderung kann zwar allen Steuerungsbedingungen Rechnung getragen werden, doch müssen die Motoren, da sie in einem großen Bereich konstantes Moment abgeben sollen, stark überdimensioniert werden. Dadurch wird die Anlage trotz annähernd verlustloser Steuerung unwirtschaftlich. Die Anlagekosten können dadurch vermindert werden, daß nicht für alle Mühlen gleiche Motorgrößen gewählt, sondern die Motorleistungen abgestuft werden, so daß die ersten Mühlen kleinere Antriebe erhalten als die letzten Triowalzen. Der Nachteil in der Reservehaltung muß hierbei jedoch berücksichtigt werden.

Eine Kombination der beiden Steuerungsarten ist bei Gleichstrom die günstigste Lösung. Zusatzmaschinen für die Drehzahlsteuerung sind zwar technisch zu befürworten, jedoch bei Zuckerrohr-Mühlenanlagen wirtschaftlich nicht zu vertreten.

Drehstrom

Die Drehzahlsteuerung durch Ändern der Läufervorwiderstände ist eine reine Verluststeuerung und daher unwirtschaftlich. Wird die Drehzahl durch Änderung der Netzfrequenz geändert, so ist in der Zentrale ein besonderer Turbosatz erforderlich, der ausschließlich die Mühlenanlage speist. Bei Störungen ist dann im allgemeinen keine Reservemaschine vorhanden. Es ist nur eine Sammelverstellung möglich. Durch Kombination beider Steuerungsarten kann ein wirtschaftlicher Betrieb erreicht werden, da die Anschaffungskosten gering sind und die Drehzahlverstellung nicht mit großen Verlusten behaftet ist. Das durch Einzeleinstellung festgelegte Drehzahlverhältnis wird jedoch bei diesem Steuerungssystem beeinflusst, so daß eine Einzelnachstellung notwendig ist.

Die Drehzahlsteuerung mit Hilfe von Hintermaschinen ist bei Drehstrom ebenso aufwendig wie bei Gleichstrom. Es tritt dann eine wesentliche Erhöhung der Anlagekosten ein, wodurch der technisch vertretbare Vorteil wirtschaftlich nicht genügend ausgeglichen werden kann. Allen Forderungen wird nur der verlustlos steuerbare Drehstrom-Kommutatormotor gerecht.

Vergleich der Anlagekosten

In Rohruckerfabriken werden etwa 50% der Gesamtenergie für die Mühlenanlage benötigt. Der Wahl der Strom-, Antriebs- und Steuerungsart muß daher besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. In der Fabrik wird aus vielen Gründen dem Drehstromnetz der Vorzug gegeben. Die Bestückung der Zentrale mit einheitlichen Drehstrom-Turbosätzen bringt eine Reihe von Vorteilen mit sich, die sich nicht nur auf die verringerte Reservehaltung, sondern auch auf die Lastverteilung innerhalb der Fabrik und die einfache Wartung erstrecken. Insgesamt wird damit ein Maximum an Betriebssicherheit erreicht, was bei Zuckerfabriken von ausschlaggebender Bedeutung ist.

In Tafel 1 sind die Anlagekosten und Wirkungsgrade für je zwei Steuerungsarten mit Gleichstrom- und mit Drehstrom-Mühlenantrieben gegenübergestellt. Hierbei wurde angenommen, daß unter den erwähnten Gesichtspunkten die Zentrale mit Drehstrom-Turbosätzen ausgerüstet ist. Zum Vergleich wurden ferner die Werte einer reinen Gleichstromanlage mit Gleichstrom-Turbosatz (Fall 5) in die Tafel aufgenommen:

1. Drehstromzentrale und Gleichstrommotoren mit gittergesteuertem Quecksilberdampf-Gleichrichter je Antrieb. Die Gesamtsteuerung wird durch Spannungsänderung vorgenommen.

- 2. Drehstromzentrale und Gleichstrommotoren mit einem für die gesamte Mühlenanlage gemeinsamen Umformersatz. Die Sammelverstellung wird durch Spannungsänderung, die Einzelsteuerung durch Feldänderung vorgenommen.
- 3. Drehstromzentrale und Drehstrom-Schleifringläufermotoren mit Frequenzsteuerung über einen für die gesamte Mühlenanlage bestimmten Generator. Die Sammelverstellung wird durch Frequenzänderung, die Einzelverstellung durch Ändern der Ankervorwiderstände vorgenommen.
- 4. Drehstromzentrale und Drehstrom-Reihenschlußmotoren. Die Gesamtsteuerung geschieht durch Bürstenverschiebung.
- 5. Gleichstromzentrale und Gleichstrommotoren mit Anschluß an eine für die gesamte Mühlenanlage gemeinsam veränderliche Spannung. Die Sammelsteuerung wird durch Spannungsänderung, die Einzelverstellung durch Änderung des Feldes vorgenommen.

Die Gegenüberstellung läßt erkennen, daß frequenzgesteuerte Anlagen zwar die geringsten Anlagekosten erfordern, daß jedoch dabei zusätzlich zu den technischen

Fall	Anlagekosten	Gesamtgewicht	Wirkungsgrad der Gesamtanlage		
			Höchste Drehzahl	Kleinste Grunddrehzahl*	Kleinste Drehzahl
	„	„	„	„	„
1	147	156	83,5	83	79
2	132	151	75,5	70	67
3	100	100	88	88	74
4	124	120	89	85	77
5	142	148	91	89	88

* Als kleinste Grunddrehzahl gilt die 40% ige Abwärtssteuerung von der höchsten Nenndrehzahl aus.

Tafel 1 Gegenüberstellung verschiedener Antriebsarten

Zugeständnissen der Nachteil eines Turbosatzes für Frequenzsteuerung in Kauf genommen werden muß. Die wirtschaftlichste Lösung, verbunden mit dem geringsten Aufwand und der größten Betriebssicherheit durch Wahl einheitlicher Turbosätze und eines einfachen Schaltungsaufbaues, bieten Drehstrom-Kommutatormaschinen. Diese Feststellung wird durch die bereits in Betrieb befindlichen Drehstrom-Reihenschlußmotoren bestätigt, für die beste Betriebsergebnisse vorliegen.

Polizeirufanlagen

VON NORBERT GÜGEL

Die Anforderungen an die Polizei in Großstädten in bezug auf Streifendienst, Auskünfte an Passanten und ähnliches sind ständig im Wachsen. Es ist deshalb vielfach gar nicht möglich, Streifenbeamte in genügendem Maße einzusetzen, insbesondere in den Nachtstunden. Es lag daher nahe, sich auch hier der Mittel der Nachrichtentechnik zu bedienen und Sprechstellen zu schaffen, die es jedermann ermöglichen, von öffentlichen Plätzen aus eine Polizeidienststelle zu erreichen. Diese Sprechstellen tragen den Namen »Polizeirufsäulen« (Bild 1) und sind im Volksmund zum Teil schon unter dem Namen »Eiserner Schutzmann« bekanntgeworden. Die Polizeirufsäulen sollen den Straßenpassanten die Möglichkeit geben, sich wegen Auskünften, die zweckmäßigerweise die Polizei gibt, jederzeit und so schnell wie möglich mit dem nächsten Revier verbinden zu können. Solche Säulen bieten darüber hinaus den Vorteil, daß über sie in kürzester Zeit Hilferufe im Fall eines Notstandes möglich sind. Selbstverständlich können auch Polizeidienststreifen diese Säulen dazu benutzen, um mit ihren Revieren in Verbindung zu treten. Schließlich ist es auch von den Revieren aus möglich, über die Rufsäule Streifenbeamte durch optische (Blinklicht) oder durch akustische Signale zu rufen.

In der Bundesrepublik wurden zuerst in den Jahren nach 1945 in mehreren Städten jedermann zugängliche Polizeirufgeräte aufgestellt. Da bei den verschiedenen Polizeiorganen der einzelnen Bundesländer keine Einheitlichkeit bezüglich der Forderungen an die äußere Form und an die technische Ausführung der Geräte bestand, wurden in den einzelnen Städten die unterschiedlichsten Geräte aufgestellt. Um die äußere Form sowie die Bedienung der Geräte weitgehend einheitlich zu gestalten, hat die technische Polizeikommission der Bundesländer in Hilstrup Richtlinien für die Geräte der Polizeirufanlagen geschaffen, die bei der neuen von Siemens & Halske entwickelten Polizeirufanlage berücksichtigt wurden. Diese Anlage soll kurz beschrieben werden.

Eine Polizeirufanlage besteht aus Ruf- und Sprechrichtungen, die auf öffentlichen Straßen und Plätzen aufgestellt werden können, und aus einer Abfrageeinrichtung bei der Polizeidienststelle. Als Ruf- und Sprechrichtungen dienen frei stehende Rufsäulen oder Rufstellen für Wandbefestigung. Die Rufstellen für Wandbefestigung sind in erster Linie an kleineren Revieren angebracht, die zeitweise, z. B. nachts, unbesetzt sind. Kommt eine hilfeschende Person an das unbesetzte Revier, so



Bild 1 Von dieser Polizeirufsäule kann jeder Passant Auskünfte beim nächstgelegenen Polizeirevier einholen oder die Polizei zu Hilfe rufen. Über eine nur den Polizeibeamten zugängliche Sprechstelle lassen sich Dienstgespräche führen

kann sie durch die Rufstelle mit dem nächsten Hauptrevier Verbindung aufnehmen.

Die Polizeirufsäule besteht aus einem Metallgehäuse mit quadratischem Grundriß. Oben unter dem Dach ist eine Schale aus Plexiglas angeordnet mit der ausgeleuchteten Aufschrift »Polizei«. Auf dem Dach der Säule befindet sich eine Blinkleuchte. An der Vorderseite ist eine Freisprecheinrichtung für Gegensprechbetrieb mit Lautsprecher, Mikrofon, Transistorverstärker, Leitungsnachbildung und Anruftaste eingebaut. Im Inneren der Säule ist hinter einer verschlossenen Tür ein Fernsprecher untergebracht, der ausschließlich für Polizeidienstgespräche bestimmt ist und zu dem nur Polizeibeamte mit dem zugehörigen Schlüssel Zugang haben.

Die Abfrageeinrichtung im Hauptrevier ist immer mit einem Beamten besetzt, der die von den verschiedenen Polizeirufsäulen oder Rufstellen kommenden Gespräche entgegennimmt und entsprechende Hilfsmaßnahmen, z.B. das Eingreifen der Funkstreife veranlaßt. Im folgenden wird auf die Bedienung der Anlage näher eingegangen.

Kommt jemand in die Lage, in der Nähe einer Polizeirufsäule die Polizei zu Hilfe rufen zu müssen und ist kein Polizeibeamter in der Nähe, so braucht er nur an der jedermann zugänglichen Freisprecheinrichtung die Ruf-taste der Säule kurz zu drücken (Bild 2), wodurch der Verbindungsaufbau zur Abfragestelle eingeleitet wird und von außen nicht mehr rückgängig gemacht werden kann. Durch das Drücken der Taste wird als Anrufrite-

rium ein niederohmiger Schleifenschluß gebildet, der in der Abfragestelle (z.B. im nächstgelegenen Polizeirevier) ein optisches und ein akustisches Signal auslöst. Gleich-



Bild 2 Durch kurzes Drücken der Ruf-taste hat ein Passant eine Sprechverbindung zur nächstgelegenen Polizeidienststelle hergestellt

zeitig wird die Blinkleuchte der Säule eingeschaltet, damit auch an Ort und Stelle auf den Polizeiruf aufmerksam gemacht wird. Der Schleifenschluß bleibt auch nach Loslassen der Taste bestehen. Erst wenn in der Abfrageeinrichtung die Leitung zum Abfragen der Meldung umgepolt wird, ist die bisher blockierte Freisprecheinrichtung durchgeschaltet und eine Gegensprechverbindung Rufsäule-Abfrageeinrichtung hergestellt. Außerdem wird dadurch die Blinkleuchte abgeschaltet, da nun der Beamte des Reviers mit der Säule in Verbindung steht.

Will ein Polizeibeamter ein Dienstgespräch führen (Bild 3), so braucht er nur den Handapparat des Dienstfernsprechers abzuheben, dessen Gabelumschalter als Anrufkriterium ebenfalls einen niederohmigen Schleifenschluß veranlaßt. Gleichzeitig werden durch den Gabelumschalter der Relaiseteil und die Freisprecheinrichtung von der Meldeleitung getrennt. Sobald die Abfrageeinrichtung die Leitung umpolt, ist die Gegensprechverbindung hergestellt. Soll eine Verbindung von der Abfrageeinrichtung im Polizeirevier zur Polizeirufsäule hergestellt werden, so wird in der Abfrageeinrichtung Rufwechselspannung an die Meldeleitung gelegt; dadurch spricht in der Rufsäule über einen Kondensator und einen Gleichrichter ein Rufrelais an. Dieses schaltet die Blinkleuchte und den auf Wunsch eingebauten Alarmwecker ein. Der Streifenbeamte kann sich auf diesen Anruf hin entweder über die Freisprecheinrichtung oder über den Dienstfernsprecher melden und erhält jeweils Sprechverbindung.

Die hier geschilderten Vorgänge beim Betätigen beziehen sich auf eine Ausführung der Anlage, bei der die von den Rufsäulen kommenden Leitungen unmittelbar in der zentralen Abfrageeinrichtung enden.

Für eine solche Anlage können aber auch Teilnehmerleitungen einer Nebenstellenanlage mitbenutzt werden. In diesem Fall wird ein Anruf von der Freisprechein-



Bild 3 Dienstgespräch über die Fernsprecheinrichtung

richtung der Rufstelle durch eine Weiche in der Leitung direkt zur zentralen Abfragestelle der Polizeirufanlage geleitet, mit der dann die Sprechverbindung besteht. Zusätzlich bewirkt die Weiche, daß der Dienstfernsprecher in der Rufsäule auf die Nebenstellenanlage durchgeschaltet wird. Der Polizeibeamte kann somit entsprechend seiner Nummernwahl mit jedem Teilnehmer der Nebenstellenanlage Gesprächsverbindung aufnehmen.

Wirtschaftliche Gestaltung von Hochspannungs-Freileitungen

VON WALTER BÜCKNER

Bei verschiedenen in letzter Zeit in Deutschland erstellten oder projektierten Hochspannungs-Freileitungen wurden hinsichtlich der wirtschaftlichen Gestaltung bedeutende Erfolge erzielt. An den Bemühungen, die dazu führten, hatten die Siemens-Schuckertwerke maßgebenden Anteil.

Maßstab der Wirtschaftlichkeit

Für Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit von Konstruktionen benötigt man einen Maßstab bezüglich

der Kosten oder Mengen, jeweils bezogen auf eine Leistung. Bei Arbeitsmaschinen, die eine meßbare Leistung abgeben, bezieht man die Kosten auf 1 kW oder 1 PS. Bei Konstruktionen, die keine Arbeit leisten, sondern eine Funktion erfüllen, kann diese Funktion in eine Beziehung zu dem Aufwand gebracht werden. Das Tragwerk der Freileitungen, bestehend vor allem aus Masten und Fundamenten, hat die Stromseile in dem erforderlichen Abstand zueinander und zur Erde (mit aller gebotenen Sicherheit) zu halten und ist im Sinne der Ener-

gieübertragung unproduktiv. Das gleiche gilt von den Erdseilen, die zum Schutz der Stromseile dienen. Produktiv im Sinne der Energieübertragung sind nur die Stromseile, bei Aluminium-Stahl-Seilen nur der Aluminiumanteil, nicht der Stahlkern. Als Maßstab für die Wirtschaftlichkeit der Freileitung gelte daher der Aufwand (in D-Mark) je Kilometer Leitung, bezogen auf den elektrisch leitenden Querschnitt (in Millimeter) aller Stromseile.

Größenordnung der unproduktiven Kosten

Tafel 1 enthält Werte aus der Praxis für heute übliche 20-kV-, 110-kV- und 380-kV-Doppelleitungen in normalem Gelände. Die Angaben beziehen sich auf die Gesamtkosten einschließlich der Montage. Die spezifischen Kosten k sinken mit wachsendem Querschnitt der Strom-

Betriebsspannung kV	20	110	380
Belegung	6 × Al-St 95/15	6 × Al-St 240/40	6 × Al-St (3 × 380/50)
Aluminiumquerschnitt insgesamt (ΣF_{AL}) mm ²	570	1440	6840
Produktive Kosten Stromseile, Aluminiummantel* %	100	100	100
Unproduktive Kosten			
Fundamente** %	56	55	32
Maste*** %	115	66	56
Erdseil %	15	13	4
Armaturen, Isolatoren, Stahlanteil der Stromseile %	53	40	48
Nebenkosten u. a., Erdungen, Flurschäden, Grunddienstbarkeit %	93	64	34
Summe der unproduktiven Kosten %	332	238	174
Gesamtkosten			
in %	432	338	274
je km (Richtwerte) DM	43 000	76 000	245 000
je km und je mm ² Aluminium- querschnitt DM/km mm ²	75	53	36

* Kosten etwa entsprechend dem Flächenverhältnis von Stahl zu Aluminium aufgeteilt

** Bei 20-kV-Leitungen Schwellenbetonfundamente, bei 110-kV- und 380-kV-Leitungen aufgelöste Ortbetonfundamente

*** Bei 20-kV-Leitungen Betonmaste, bei 110-kV- und 380-kV-Leitungen Winkelstahlmaste

Tafel 1 Kosten von Freileitungen, abhängig vom Leiterquerschnitt

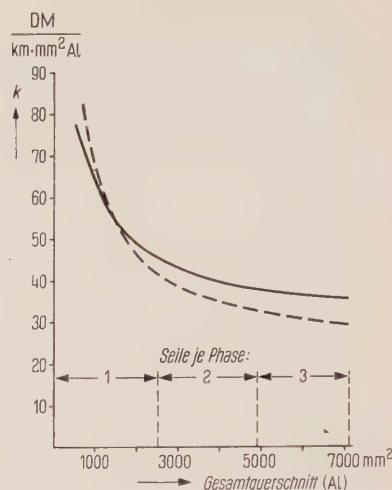


Bild 1 Spezifische Kosten k von Freileitungen, bezogen auf den Aluminiumquerschnitt aller Stromseile ΣF_{AL}

seile trotz steigender Betriebsspannung. Mit wachsender Spannung sind die Sicherheitsabstände größer und damit auch die absoluten Kosten für Maste, Fundamente und Isolatoren höher. In Bild 1 sind die Gesamtkosten je 1 mm² Aluminium aufgetragen. Die ausgezogene Linie entspricht den Werten der Tafel 1, d. h., mit dem Querschnitt wächst auch die Betriebsspannung. Die gestrichelte Linie gilt für eine konstante Spannung von 110 kV. Der Einfluß der Betriebsspannung auf die Kosten ist klein.

Projektierung der Freileitung

Der erforderliche Aluminiumquerschnitt einer Freileitung wird durch eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der Energieübertragung bestimmt. Der Seilquerschnitt (im Zusammenhang mit der Betriebsspannung) ist die einzige gegebene Ausgangsgröße für die Gestaltung der Leitung, wenn man von Gelände- und Klimabedingungen absieht.

Die mechanische Seilspannung wird im Hinblick auf die Betriebssicherheit und die Wirtschaftlichkeit der Leitung bestimmt. Die Wahl des dem Aluminium beizugebenden Stahlkerns und des Abstandes der Maste hängt von der konstruktiven Gestaltung und von Überlegungen hinsichtlich der Kosten ab. Die genannten Größen – Seilspannung, Stahlanteil und Spannweite – beeinflussen die Mastbelastung sowie den Seildurchhang, der die Masthöhe und den Abstand der Leiter mitbestimmt. Für jede der drei Größen gibt es einen Wert, bei dem die Kosten zu einem Minimum werden.

Mechanische Seilspannung und Spannweite

Mit wachsender mechanischer Seilspannung σ , werden der Seildurchhang f und damit die erforderliche Masthöhe geringer. Eine Vergrößerung der Spannweite bedingt einerseits eine Verteuerung der Maste, jedoch führt an-

dererseits die Verringerung der Anzahl i der Maste zu Kostenminderungen. Bild 2 gibt für Aluminium-Stahl-Seile mit dem Querschnittsverhältnis Al/St = 6/1 die Durchhänge und Mastgewichte einer 110-kV-Leitung (6 Al-St-Seile 170/28) und einer 220-kV-Leitung (6 Al-St-Seile 402/67) an. Die Änderung der Mastgewichte wird entsprechend der auf S. 711 abgeleiteten Gleichung (4) ermittelt, die Gewichte der Traversen wurden getrennt bestimmt.

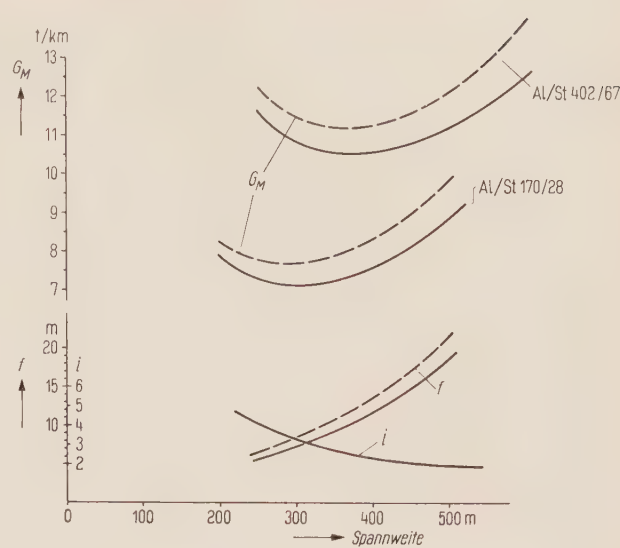
Die niedrigsten Tragmastgewichte je Kilometer Leitung ergeben sich bei dem dünnen Seil für Spannweiten zwischen 275 und 300 m und bei dem dickeren Seil zwischen 360 und 375 m; die Betriebsspannung und die mechanische Seilspannung haben dabei untergeordnete Bedeutung.

Die niedrigsten Leitungskosten ergeben sich für Spannweiten, die um 10 bis 20% über den genannten Werten liegen, weil die Kosten für Isolatoren, Erdungen, Grundstücke und Flurschäden von der Anzahl der Maste abhängen und mit wachsender Spannweite kleiner werden.

Die Vorteile der höheren mechanischen Seilspannung – größere Spannweite, geringere Kosten – werden durch einen größeren Anteil von Winkel- und Abspannmasten verringert. Dies muß je nach den örtlichen Verhältnissen berücksichtigt werden. Im Ausland werden erstaunlich hohe Seilspannungen verwendet [1, 2], die nicht nur auf abweichende ausländische Vorschriften zurückzuführen sein dürften.

Wahl des Aluminium-Stahl-Seiles

In Deutschland bevorzugt man Aluminium-Stahl-Seile mit einem Stahlanteil von 15 bis 25%. Im Ausland verwendet man in steigendem Maß Seile mit einem geringeren Stahlanteil (5 bis 12%). Mit sinkendem Stahlanteil wird zwar der Durchhang größer, aber der Seildurchmesser und der Seilzug verringern sich (Bild 3), d. h., die mechanische Belastung der Maste wird geringer. Für eine 220-kV-Doppelleitung mit Al-St-Seilen (402 mm² Aluminiumquerschnitt und unterschiedlichem Stahlanteil, 400 m Spannweite) wurden die Tragmastgewichte nach Gleichung (4) ermittelt. Die Mastkosten, hier nur von einem Tragmast, sind vom Durchhang und von der Masthöhe, d. h. von der gewählten Seilspannung, abhängig. Die Mastkosten wurden daher für zwei Seilspannungen ermittelt (s. Bild 3). Entscheidend ist der Einfluß der mit kleinerem Stahlanteil sinkenden Seilkosten. Je nach der mechanischen Seilspannung ergeben sich die geringsten Kosten bei einem Verhältnis der Querschnitte von $F_{Al}/F_{St} \approx 12$ (niedrige Seilspannung) oder ≈ 16 (hohe Seilspannung). Bei geringerem Anteil der Seilkosten an den Gesamtkosten z. B. einer 110-kV-Leitung ergibt sich das Optimum bei höherem Stahlanteil, während bei 380-kV-Bündelleitungen ein noch kleinerer Stahlanteil nützlich ist.

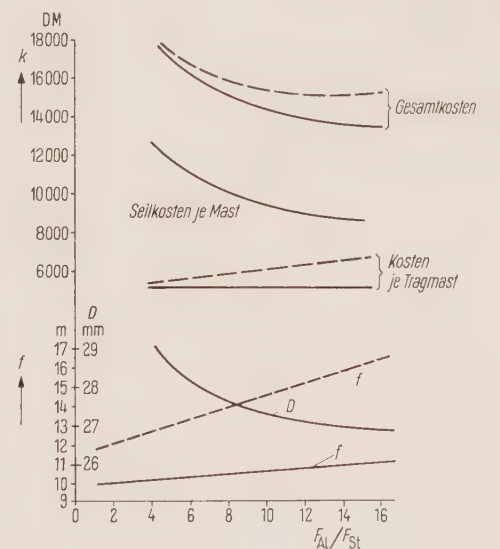


G_M Gewicht der Tragmaste je km
 f Seildurchhang bei +40 °C i Anzahl der Maste je Kilometer
— für $\sigma_s (+10\text{ °C}) = 5,4\text{ kp/mm}^2 = 17\% \text{ von } \sigma_s \text{ Bruch}$
— für $\sigma_s (+10\text{ °C}) = 6,4\text{ kp/mm}^2 = 20\% \text{ von } \sigma_s \text{ Bruch}$

Bild 2 Bestimmung der optimalen Seilspannung und Spannweite

Mastbild

Zu den Projektierungsarbeiten gehört auch das Festlegen des Mastbildes, d. h. der Anordnung der Stromseile in einer, zwei oder drei Ebenen. Die Anordnung in einer Ebene hat das kleinste Normallastmoment M_b , dagegen



f Seildurchhang bei +40 °C K Kosten
 D Durchmesser des Seiles bei einem Aluminiumanteil $F_{Al} = 402\text{ mm}^2$
— für $\sigma_s (+10\text{ °C}) = 17\% \text{ von } \sigma_s \text{ Bruch}$
— für $\sigma_{Al} = 9\text{ kp/mm}^2$ Maximale Zugbeanspruchung nach VDE 0210

Bild 3 Ermittlung des günstigsten Stahlanteiles F_{St} bei Aluminium-Stahl-Seilen

das größte Torsionsmoment M_T . Die Mastgewichte lassen sich mit Gleichung (4) ermitteln. Sie werden dann gemeinsam mit den übrigen Gesichtspunkten – z. B. Geländeverhältnisse, Eislastgefahr und Aussehen – bei der Entscheidung zu berücksichtigen sein.

Als einer der ersten hatte VIDMAR [3] die Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte beim Projektieren von Freileitungen gefordert und dazu Vorschläge unterbreitet. Er forderte Aluminiumseile ohne Stahlanteil und größere Spannweiten. Das Ergebnis der vorstehend beschriebenen Untersuchung weist in die gleiche Richtung, ohne jedoch zu den extremen Werten zu führen, die VIDMAR anstrebt.

Mastgestaltung

Das Mastbild wird maßgeblich bestimmt durch die Anzahl der Traversen, die Abstände der Leiter, die Anordnung der Erdseile sowie durch die Höhe und Belastung der Maste. Bei der Konstruktion der Einzelteile müssen die wirtschaftlichsten Formen unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Bruchsicherheit ermittelt werden. Für die Maste als wichtigstem Kostenfaktor führen diese Überlegungen zum Leichtbau, für den allgemeine Untersuchungen vorliegen [4]. Winkelstahlmaste sind meistens räumliche Fachwerke (s. Bild 11), deren Stäbe auf Zug und Druck zu bemessen sind. Für die Dimensionierung ist vor allem die Drucklast P maßgebend. Ziele des Leichtbaues sind

- a) leichte und preiswerte Konstruktion der Einzelstäbe für die vorgegebenen Lasten,
- b) geringes Gesamtgewicht und geringer Preis des Mastfachwerkes.

Dimensionierung des Einzelstabes

Für eine gegebene Drucklast P und die Knicklänge l ist dasjenige Winkelstahlprofil am leichtesten, das die höchste Knickspannung σ_k zuläßt. Für σ_k gilt für geometrisch ähnliche Profile [5]:

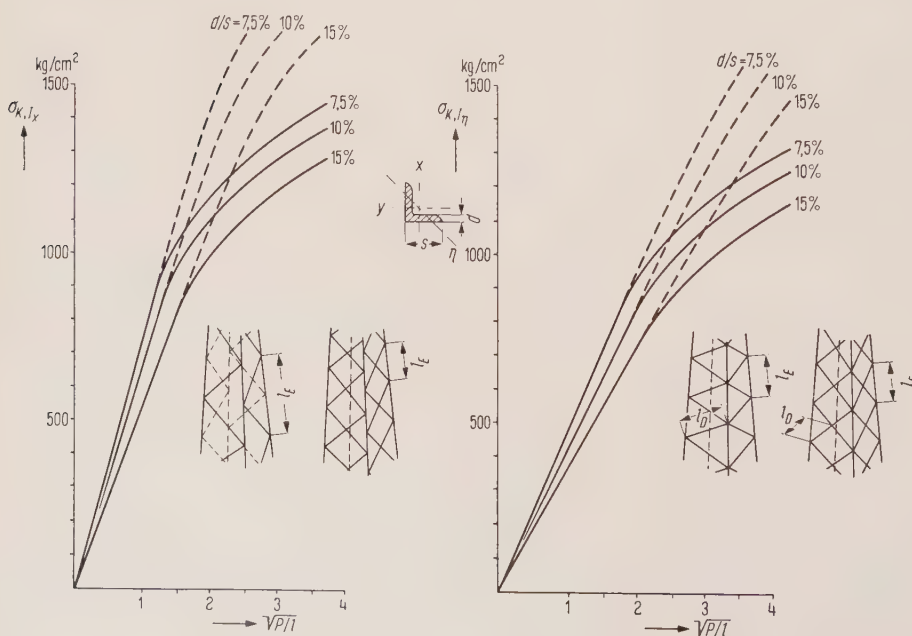
$$\sigma_k \approx c \sqrt{P/l} \quad (c \text{ Konstante}) \quad (1)$$

In Bild 4 ist diese Funktion unter Beachtung der deutschen Vorschrift [6] für gleichschenkelige Winkelstahlprofile aus Werkstoff St 37 und St 52 aufgetragen, und zwar jeweils für zwei Stützbedingungen, die im Bild näher erläutert sind. Bei gleichem Verhältnis zwischen Profildicke d und Steglänge s ist σ_k nur von $\sqrt{P/l}$ abhängig. Die bei höheren Werten einsetzende Krümmung der Kurven kennzeichnet den Beginn des Bereiches der plastischen Verformungen.

Für den praktischen Bereich läßt sich dafür eine lineare Näherungsgleichung ermitteln. In der Regel wird man σ_k aus Bild 4 entnehmen.

Die Bezugnahme auf den maßgebenden Faktor $\sqrt{P/l}$ ermöglicht es, für beliebige Drucklasten und Stablängen die Druckspannungen aller geometrisch ähnlichen Profile in einer Kurve wiederzugeben. Damit gewinnt man einen anschaulichen Überblick über die Vielfalt der Profile. Auf die Vorzüge dünner Winkelstahlprofile, doppelter Abstützung der Eckstiele und hochwertiger Stähle ist schon früher hingewiesen worden [7]. Die Bilder 5 und 6 lassen diese Vorzüge jeweils als Verhältnis der zulässigen Knickspannungen σ_k erkennen. Man ersieht daraus:

Profile mit dünnen Stegen, vor allem solche unter 10% Dicke, ermöglichen bei allen Werkstoffen höhere Knickspannungen und damit kleinere Gewichte.



- Links: Knickung um die x- oder y-Achse, doppelte Stützung
Rechts: Knickung um die η-Achse, einfache Stützung
--- St 52, $\sigma_{zul} = 2400 \text{ kp/cm}^2$
— St 37, $\sigma_{zul} = 1600 \text{ kp/cm}^2$
 l_E Knicklänge der Eckstiele
 l_D Knicklänge der Diagonalen

Bild 4 Zulässige Knickspannungen von gleichschenkligen Winkelstahlprofilen, abhängig vom Wert $\sqrt{P/l}$

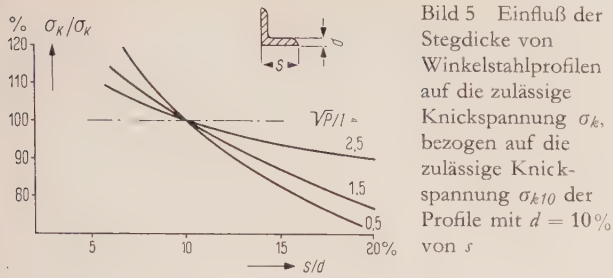


Bild 5 Einfluß der Stegdicke von Winkelstahlprofilen auf die zulässige Knickspannung σ_k , bezogen auf die zulässige Knickspannung σ_{k10} der Profile mit $d = 10\%$ von s

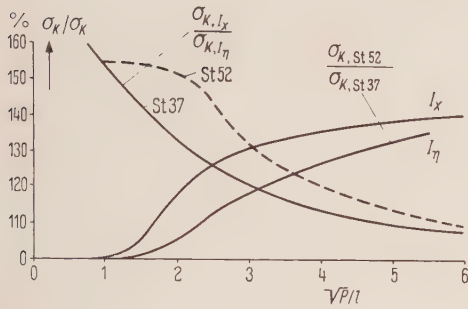


Bild 6 Zusammenhang zwischen der Werkstofffestigkeit und den Stützbedingungen der Stäbe einerseits und der zulässigen Druckbeanspruchung andererseits

Die doppelte Abstützung der Stäbe ist sehr wirkungsvoll, vor allem bei hochwertigem Werkstoff, z. B. St 52 innerhalb des praktischen Anwendungsbereiches.

Bei größeren Werten \sqrt{P}/l sind hochwertige Werkstoffe, z. B. St 52, wirtschaftlich; dies gilt vorzugsweise für doppelte Abstützung, bei der das maximale Trägheitsmoment zur Wirkung kommt.

Der praktische Anwendungsbereich der Eckstiele liegt zwischen den Werten $\sqrt{P}/l = 1,8$ bis $4,0$, der Bereich der Diagonalen zwischen $\sqrt{P}/l = 0,6$ bis $2,5$. Für die Eckstiele ist bei doppelter Abstützung die Verwendung von St 52 zu empfehlen, für die Diagonalen, die meistens nur einfach gestützt werden können, genügt normalerweise St 37. Im Mastoberteil ist gegebenenfalls St 52 auch für die Diagonalen günstig, da die Anschlüsse zum Eckstiel bei hochwertigen Schrauben dann auch Vorteile bieten. Dünne Profile sind bei allen Werkstoffen und Stützbedingungen gleich günstig, besonders aber bei schlanken Stäben, z. B. bei Diagonalen.

Das Mindestgewicht des Einzelstabes beträgt

$$G = F l \gamma = \frac{P}{\sigma_k} l \gamma \quad (2)$$

F Profilquerschnitt

γ Dichte

Aus Bild 4 entnimmt man den Wert für σ_k und kann dann das Stabgewicht aus der äußeren Last und der Knick-

länge errechnen, ohne den Stab nach dem üblichen zeitraubenden Verfahren zu dimensionieren. Die Vorzüge dieser Rechnung – schnell zur wirtschaftlichen Lösung zu kommen – zeigen sich besonders bei dem Entwurf des ganzen Mastes mit seinen zahlreichen Einzelstäben.

Gestaltung des Mastfachwerkes

Bei der Gestaltung der Maste kann die Mastbreite b in gewissen Grenzen und die Knicklänge l_E der Eckstiele ohne Einschränkungen frei gewählt werden. Welche Lösung ist dabei am günstigsten? Der Weg, verschiedene Entwürfe statisch durchzurechnen und dann Gewichte und Kosten zu ermitteln, ist sehr zeitraubend. Ein anderer Weg war bisher nicht bekannt. Entwürfe und Hinweise für eine wirtschaftliche Gestaltung lassen sich aber schnell beurteilen, wenn der für die Einzelstäbe erläuterte Weg auch für den Mast angewandt wird.

Das theoretische Mindestgewicht des gesamten Mastes G_M ergibt sich aus der Summe der Stabgewichte G entsprechend Gleichung (2) und einem Zuschlag G_Z für Schrauben, Profiltoleranzen und Bleche. Das Gewicht g_M je Meter Masthöhe für ein Feld ist

$$g_M = \frac{\gamma}{l_E} \sum_{i=1}^n \frac{l_i P_i}{\sigma_K} + g_Z \quad (3)$$

n Anzahl der Stäbe

g_Z Zusätzliches Gewicht der Schrauben usw. je Meter Masthöhe

Die Stabkräfte P sind von den äußeren Lasten und den Abmessungen der Maste abhängig. Einzelheiten der Mastberechnung können dem Schrifttum [8, 9, 10] entnommen werden.

Die Knicklängen der Eckstiele l_E sind frei wählbar. Im Hinblick auf eine gleichmäßige Ausnutzung wird man $(\sqrt{P}/l)_E = \text{const}$ setzen. Je höher dieser Wert bei gegebenem Wert P_E gewählt wird, desto kleiner werden die Knicklängen l_E , desto zahlreicher und damit aufwendiger werden aber die Diagonalen. Wo liegt das Optimum? Die gleiche Frage tritt bei der Wahl der Mastbreiten b auf. Mit wachsender Breite werden zwar die Eckstielkräfte kleiner, die Diagonalen jedoch länger.

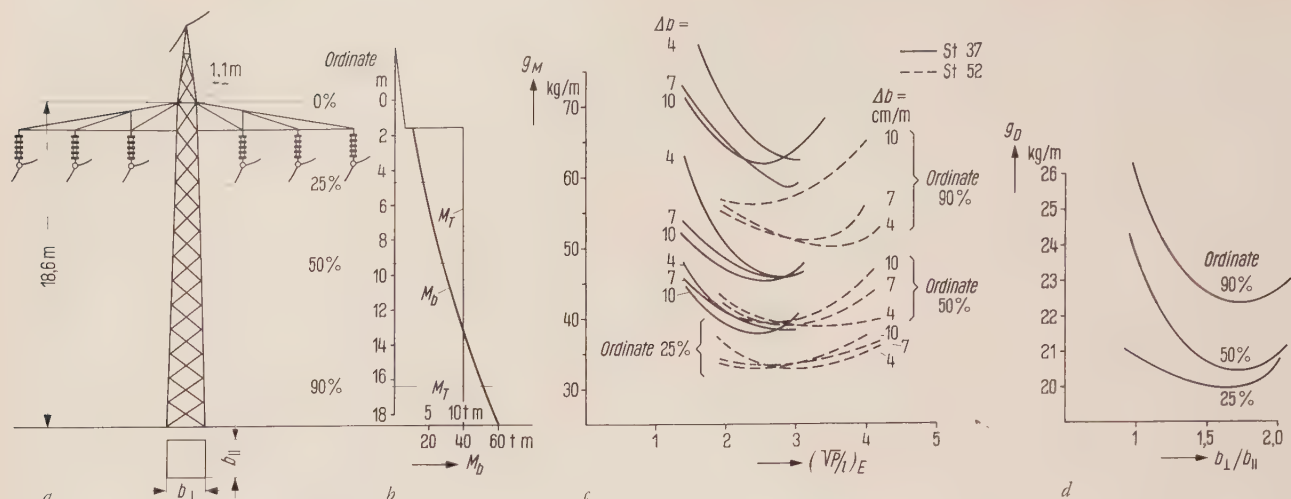
Zur Beurteilung verschiedener Entwürfe kann man ein Verfahren verwenden, das an einem Beispiel erläutert werden soll. Hierfür werden folgende Voraussetzungen getroffen:

1. Äußere Lasten des 110-kV-Mastes:

Werte entsprechend Bild 7. Für die Eckstiele ist die Normallast senkrecht zur Leitung und für die Diagonalen die Ausnahmelast maßgebend.

2. Für die Eckstiele:

Werkstoff St 37 und doppelte Stützung bei 10% Stegdicke der Profile ($d/s = 0,1$; s. Bild 4) wahlweise auch für St 52 mit verschiedenen Werten \sqrt{P}/l .



a Mastbild
 $\Delta b = (b_1 - 110)/18,6$ (b in cm)

b Abhängigkeit des Normalmomentes M_b und des Torsionsmomentes M_T von der Höhe des Mastes

c Mastgewicht g_M je Meter Masthöhe, abhängig von der Breitenzunahme Δb und von $(\sqrt{P_{II}})_E$

d Gewicht g_D der Diagonalen eines Rechteckmastes je Meter Masthöhe, abhängig vom Breitenverhältnis b_1/b_{II} , $\Delta b = 7$ cm/m; $(\sqrt{P_{II}})_E = 3$

Bild 7 Ermittlung der wirtschaftlichen Gestalt eines 110-kV-Tragmastes

3. Für die gekreuzten Diagonalen:

Werkstoff St 37 und 10% Stegdicke, wahlweise 7,5% im Zusammenhang mit der Verwendung von St 52 für die Eckstiele.

4. Mastformen:

Geradlinig verlaufende Mastbreite ohne Knick, mit verschiedenen Breitenzunahmen. Die Maste haben einen quadratischen Grundriß. Die Breite an der oberen Traverse $b_o = 1,1$ m wird nicht verändert.

Die Untersuchung erstreckt sich auf drei Felder bei 25, 50 und 90% der Ordinate, von der Oberkante der Traverse beginnend bis zum Erdboden. Man erhält für die verschiedenen Varianten die in Bild 7 aufgetragenen Gewichte. Die Werte, besonders die Gewichte, wurden entsprechend den Beispielen in Tafel 2 berechnet.

Das Ergebnis für den 110-kV-Tragmast ist:

- Der Einfluß der Mastbreitenzunahme Δb auf das Mastgewicht ist gering, abgesehen vom Mastunterteil;

$A \ b$		Eckstiele St 37					Diagonalen St 37					Mast	
Breiten- zunahme	b_u 1 Leitung	P_E $(\sqrt{P_E})$	$\sqrt{P_E}/l_E$	l_E	1) $\sigma_K \cdot 10^3$	2) G_E	3) l_D	4) P_D	$\sqrt{P_D}/l_D$	5) $\sigma_K \cdot 10^3$	6) G_D	$G_E + G_D$	7) g_M
cm/m	m	t	\sqrt{t}/m	m	t/m ²	kg	m	t	\sqrt{t}/m	t/m ²	kg	kg	kg/m
Ordinate 90 % = 16,45 m; $M_b = 50,0$ mt; $M_T = 9,5$ mt; Vertikallast 3,8 t													
7	2,25	12,05 (3,48)	1,5	2,32	9,2	96,0	1,45	1,62	0,88	5,0	65,0	161,0	71,5
7	2,25		2,0	1,74	10,8	62,0	1,28	1,49	0,95	5,4	49,0	111,0	65,0
7	2,25		3,0	1,16	12,8	34,5	1,13	1,32	1,02	5,7	37,0	71,5	58,0
10	2,74	10,1 (3,17)	1,5	2,12	9,2	72,0	1,57	1,21	0,70	3,8	71,0	143,0	70,0
10	2,74		2,0	1,58	10,8	46,3	1,42	1,10	0,73	4,0	54,0	100,3	64,0
10	2,74		3,0	1,06	12,8	24,5	1,33	1,03	0,76	4,3	43,2	67,7	64,0

E Eckstiel D Diagonale

3) $l_D = 45\%$ der Diagonalenlänge

5) Aus Bild 4 für St 37, I_{η} ; jedoch $\sigma_{zul} = 2200$ kp/cm²

1) Aus Bild 4 für St 37, I_{η} ; $\sigma_{zul} = 1600$ kp/cm²

4) $P_D \approx \frac{M_T}{1,8} \frac{l_D}{b_{II}^2}$

6) Gewicht von acht Diagonalen

2) Gewicht der vier Eckstiele eines Feldes gemäß Gleichung (3)

7) Mastgewicht je Meter Masthöhe

Tafel 2 Errechnete Werte zur Ermittlung der günstigsten Mastgestalt

vorherrschend ist der Einfluß des Wertes $(\sqrt{P/l})_E$, d. h. der Knicklängen der Eckstiele.

- Der Mast mit Eckstielen aus St 37 hat seine günstigste Breitenzunahme zwischen 7 und 10 cm/m und einen besten Wert $(\sqrt{P/l})_E$ für die Eckstiele von 2,3 bis 2,7.
- Eckstiele aus St 52 und Diagonalen mit einer dünneren Wand (7,5%) ermöglichen eine Gewichtseinsparung von etwa 13%. Der Anteil der Profile aus St 52 am Gewicht des Mastschaftes beträgt etwa 40%. Hier liegt die günstigste Breitenzunahme zwischen 4 und 7 cm, d. h., der Mast ist schmäler. Die Werte $\sqrt{P/l}$ sind mit 3,0 bis 3,6 höher zu wählen als bei Eckstielen aus St 37.

Die verschiedenen Preise der Profile für die schweren Eckstiele gegenüber denen der leichteren Diagonalen und der Werkstoffe lassen es sinnvoll erscheinen, die Gewichte der Eckstiele und der Diagonalen zunächst mit dem jeweiligen Preis je Kilogramm zu multiplizieren, den Gesamtpreis zu ermitteln und erst von diesem dann das Optimum zu bestimmen. Das gleiche Verfahren gibt auch Aufschluß über das günstigste Breitenverhältnis des Rechteckmastes. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Bild 7d aufgetragen. Für den untersuchten 110-kV-Tragmast ist ein Verhältnis b_1/b_{II} von 1,5 bis 1,7 anzustreben, womit eine Gewichtsverringerung von 7% möglich wird.

Die Gestaltung der Traversen muß in diese Überlegung mit eingeschlossen werden, wobei ähnliche Berechnungen wie beim Mastschaft anzustellen sind.

Allgemeine Gleichung für das Mastgewicht

Zur Ermittlung der wirtschaftlichsten Seilquerschnitte und der günstigsten Projektierungsdaten benötigt man überschlägig die Kosten der Freileitung. Erwünscht ist dafür eine Gleichung für das Mastgewicht in Abhängigkeit von der äußeren Belastung und den Mastabmessungen. Sinnvoll ist hierzu eine Trennung der Mastteile entsprechend der für sie jeweils maßgebenden Lastfälle. So kann als maßgebender Lastfall für die Eckstiele die Normalbelastung und für die Diagonalen der Ausnahmefall festgelegt werden. Entsprechend umgeformt lautet Gleichung (3) für gekreuzte Diagonalen mit der Diagonalenlänge $l = l_D/0,45$:

$$\begin{aligned}
 g_M = & \underbrace{\frac{\gamma}{l_E} \sum_1^{n_E} 4 \frac{P_E l_E}{\sigma_E}}_{4 \text{ Eckstiele}} + \underbrace{\frac{\gamma}{l_E} \sum_1^{n_D} \frac{8 P_D l_D}{0,45 \sigma_D}}_{8 \text{ Diagonalen}} \\
 & + \underbrace{\frac{\gamma}{h} \sum_1^{n_T} \frac{P_T l_T}{\sigma_T}}_{+ \text{ Traverse}} + \underbrace{g_Z}_{\text{Zuschlag}}
 \end{aligned}$$

Setzt man die Werte der Belastungen M_b und M_T sowie die Mastbreiten in Abhängigkeit der Höhe x (s. Bild 7) sowie für σ Gleichung (1) ein und integriert man von $x = 0$ bis $x = h$, so erhält man für das Gewicht des Mastschaftes G_{sch} mit Eckstielen St 52 ($d/s = 0,1$) überschlägig in Kilogramm ohne Zuschläge:

$$G_{sch} = Q \left(\frac{h^2}{2 b_o} + \frac{Q_1}{\Delta_b} \right) + 4,4 \frac{\sqrt{M_T}}{\Delta_b} \left(b_m^{3/2} - b_o^{3/2} \right) \quad (4)$$

Hierin bedeuten: h Masthöhe von der oberen Traverse bis zum Erdboden in Metern

$Q = \frac{M_{b_{max}}}{h}$; M_b Maximales Normalmoment am Erdboden ($x = h$) in Tonnenmeter

b_o Mastbreite an der oberen Traverse ($x = 0$) in Metern

b_m Mastbreite an der Erde ($x = h$) in Metern

Δb Breitenzunahme in Meter/Meter

M_T Torsionsmoment bei Ausnahmefall in Tonnenmeter



Bild 8 Freileitungsmast mit Dreipunktgründung der 110-kV-Leitung Kraftwerk Reuter – Kraftwerk Spandau der BEWAG Berlin

Bei Masten mit einem weitergespreizten Unterteil sind beide Teile des Mastschafes ober- und unterhalb des Knicks getrennt zu berechnen.

Mastgestaltung und Fundamentkosten

Eine größere Zunahme der Breite im Mastunterteil ergibt kleinere Fundamentbelastungen und -kosten, jedoch Steigerungen der Mast- und Grundstückskosten. Auch hier ist ein Kostenminimum vorhanden. Es liegt bei einer Mastbreite, die bei schlechtem Baugrund größer ist als bei gutem Boden. Eine größere Einsparung von Fundamentkosten ergeben Maste mit nur drei Eckstielen [11, 12]. Der Mastgrundriß ist auf der ganzen Höhe ein Dreieck. Diese Bauart setzt für die Eckstiele Rohre oder Spezialwinkelprofile voraus. Mit normalen Profilen kann man allerdings diese Vorteile auch erzielen, sofern der normale Mast mit vier Eckstielen am Erdboden einen dreieckigen Grundriß hat und nur mit drei Gründungen am Boden verankert wird (Bild 8). Die Kosten dieses Mastes gleichen den Kosten des normalen Mastes. Die Kosten für die Dreipunktgründung sind

um 10% geringer als die Kosten für die normale Gründung [13]. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen werden diese Einsparungen höher. So können z. B. bei felsigem Untergrund Einsparungen bis zu 20% erreicht werden. Es sind auch noch weitere Vorzüge der Dreipunktgründung zu berücksichtigen, z. B. die leichtere Zugänglichkeit des Bodens unter dem Mast bei landwirtschaftlicher Nutzung.

Gestaltung der Fundamente

Die wirtschaftliche Gestaltung der Fundamente verlangt größere Fundamenttiefen bei kleineren Fundamentbreiten. Mit größerer Fundamenttiefe erhöht sich die Belastbarkeit etwa quadratisch, die Betonmenge aber nur linear. Bild 9 zeigt, wie die spezifischen auf 1 t Traglast bezogenen Betonmengen mit wachsender Tiefe geringer werden. Die Kosten sinken nicht im gleichen Maß, da sie je Kubikmeter Beton mit der Tiefe wachsen. Es gibt für jeden Boden und jede Belastung eine optimale Tiefe. Sie kann entsprechend der angetroffenen Bodenart und den

zur Verfügung stehenden Erdaushubgeräten für jede Leitung bestimmt werden.

Bild 10 zeigt ein Beispiel für eine Gründung. Das Oberteil des Betonfundamentes, ein Fertigbetonteil, ist bereits an zentraler Stelle um die Mastestiele, die ins Fundament ragen, im Rüttelverfahren aufgebracht worden. Nach Ausheben der Fundamentgruben wird der Mastfuß mit dem Fertigbetonteil montiert. Das Fundamentunterteil, das die Verankerung im Erdreich bewirkt, wird anschließend als Ortbeton eingebracht. Die gezeigte Gründung für einen Tragmast hatte eine Zuglast von 3,4 t bei zweifacher Sicherheit auszuhalten. Diese Bauart hat sich gut bewährt. Sie erfordert nur geringe Betonmengen und sichert eine gute Verankerung im Erdreich.

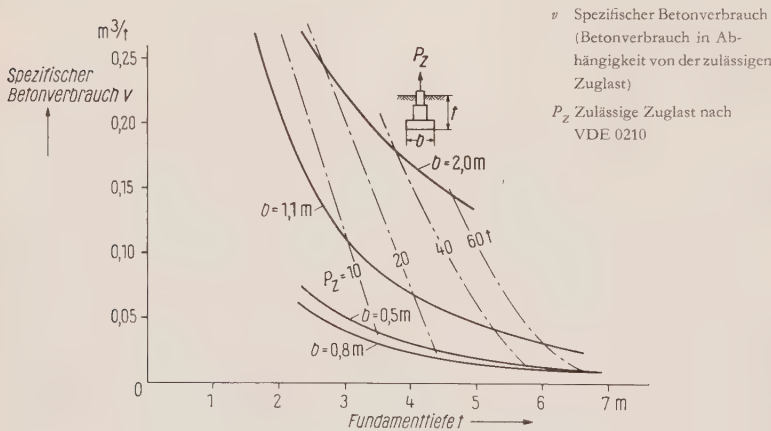


Bild 9 Betonvolumen und Tragfähigkeit von Ortbetonfundamenten

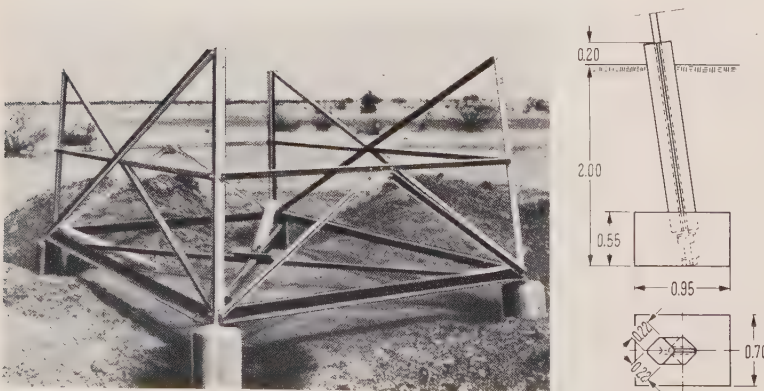


Bild 10 Fundament aus Fertig- und Ortbeton für Maste der 110-kV-Leitung Sennar-Khartum (Sudan)

Neue deutsche Freileitungstragwerke

Ein Vergleich von zwei 110-kV-Leitungen (Bild 11) der Pfalzwerke AG, erbaut 1951 und 1961, und von zwei 220-kV-Leitungen (Bild 12) der Elektrowerke (Baujahr 1942) und der Nordwestdeutschen Kraftwerke (Baujahr 1960) mit jeweils gleichen oder ähnlichen Stromseilen zeigen die Fortschritte der deutschen Freileitungstechnik. Die beiden neuen Leitungen unterscheiden sich von den älteren durch

größere Spannweiten und Mastbreiten, Verwendung von Werkstoff St 52 für die Eckstiele,

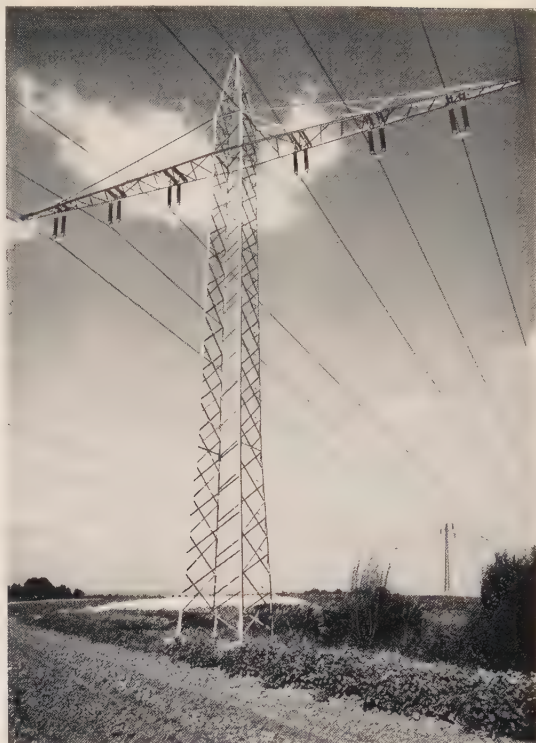
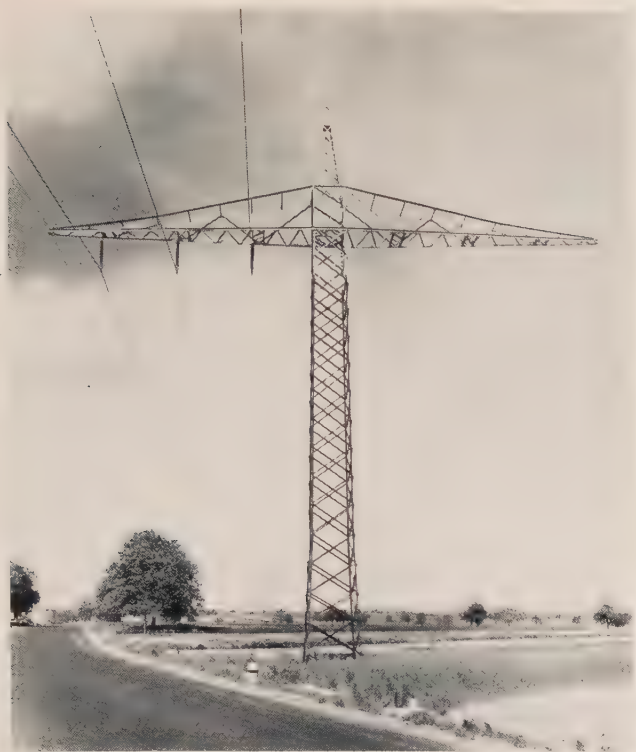


Bild 11 Maste der 110-kV-Leitung Landau-Neustadt, gebaut 1951 (links),
und der 110-kV-Leitung Mutterstadt-Grünstadt der Pfalzwerke, gebaut 1961 (rechts)

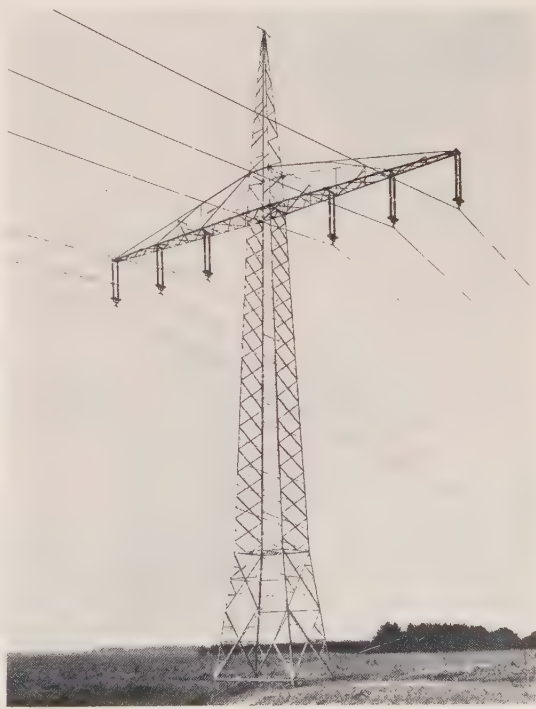
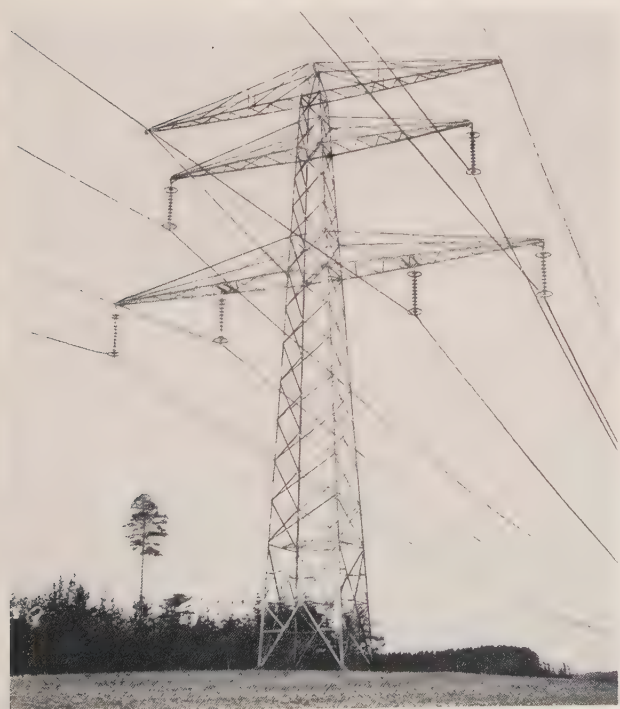
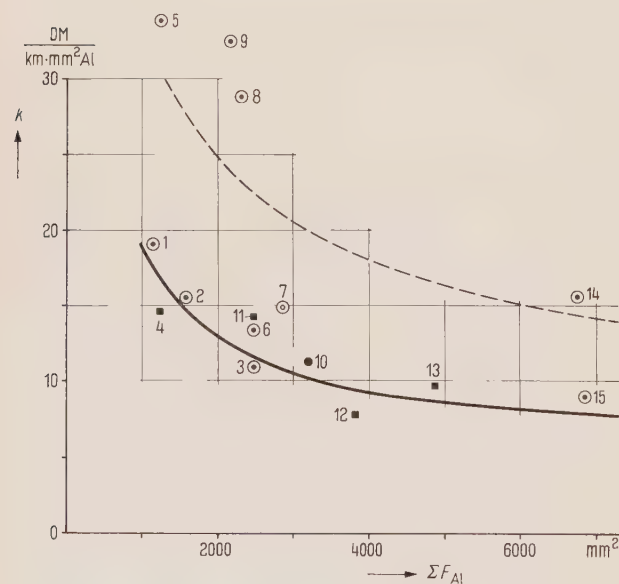


Bild 12 Maste der 220-kV-Leitung Magdeburg-Ludersheim der EWAG, gebaut 1942 (links),
und der 220-kV-Leitung Stade-Audorf der NWK, gebaut 1960 (rechts)

Leitung wie in	Bild 11		Bild 12	
Betriebsspannung	110 kV	110 kV	220 kV	220 kV
Stromseile aus Aluminium und Stahl mm ²	6 × 185/32	6 × 185/32	6 × 340/110	6 × 402/92
Baujahr	1951	1961	1942	1960
Spannweite maximal m	300	320	300	400
Seilspannung kp/mm ²	8,0	8,0	8,0	8,5
Mastgewicht Tragmast t je km Leitung t	3,8 19,5	2,9 11,4	7,2 35	4,6 17,5
Fundamente Betonvolumen etwa m ³	91,0	8,5	94	12
Kosten des Tragwerks bei gleicher Preisbasis %	100	54	100	53

Tafel 3 Kennwerte der in den Bildern 11 und 12 gezeigten älteren und neueren Freileitungen



- Freileitung mit einem System, Inland
- Freileitung mit einem System, Ausland
- ⊙ Freileitung mit zwei Systemen, Inland

1 bis 4: 110 kV Betriebsspannung
5 bis 9: 220 kV Betriebsspannung, 7, 8 mit Doppelbündel je Phase
10 bis 15: 380 kV Betriebsspannung, 11, 12, 13 Doppelbündel, 14 Viererbündel;
10 und 15 Dreierbündel je Phase
1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 15: Neue Leitungen oder Projekte nach Entwürfen der Siemens-Schuckertwerke

— — — Ältere deutsche Leitungen
— — — Neuere deutsche Leitungen

Bild 13 Kosten von Freileitungstragwerken des In- und Auslandes

dünnwandige Winkelstahlprofile, besonders für die Diagonalen, aufgelöste Tiefgründungen auch für die Tragmaste.

Die für die Leitungen jeweils maßgebenden Vorschriften VDE 0210 zeigten nur geringe Unterschiede. Die Betriebssicherheit der Anlagen ist gleich. Tafel 3 zeigt die bedeutenden wirtschaftlichen Vorzüge der neuen Leitungen. Die neuen Tragwerke kosten nur etwa die Hälfte der älteren Tragwerke. Die neuen Maste wurden von den Lieferfirmen nach Entwürfen der Siemens-Schuckertwerke konstruiert und geliefert. Solche 110-kV-Maste lieferten die Vereinigten Österreichischen Eisen- und Stahlwerke, Linz (Donau), u. a. für die 110-kV-Leitung Mutterstadt-Grünstadt (s. Bild 11). Diese Leitung ersetzt eine Teilstrecke der gleichfalls von den Siemens-Schuckertwerken im Jahr 1912 errichteten 110-kV-Leitung Ludwigshafen-Homburg, die jetzt noch in Betrieb ist.

Die Maste der 220-kV-Leitung Stade-Audorf der Nordwestdeutschen Kraftwerke wurden von den Stahlwerken Brüninghaus konstruiert und geliefert. Auch für andere deutsche Leitungen haben die Siemens-Schuckertwerke Tragwerke unter Beachtung wirtschaftlicher Gesichtspunkte entworfen, so u. a. für die geplante 220/380-kV-Leitung Aschaffenburg-Schweinfurt der Bayernwerk AG.

Einen weiteren Überblick über die Tragwerkkosten gibt Bild 13, wobei auch ausländische Leitungen berücksichtigt wurden. Man ersieht daraus, daß die deutsche Freileitungstechnik hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Tragwerke den Vorsprung der vergleichbaren ausländischen Technik aufgeholt hat. Eine Weiterentwicklung in dieser Richtung ist möglich.

Schrifttum

- [1] Cook, J.: The British Columbia Electric Company's 300 kV and 230 kV Transmission Line Designs. Trans. Pap. No. 59-67
- [2] Fritz, E.: The Effect of Tighter Conductor Tensions on Transmission Line Costs. Trans. Pap. No. 60-189
- [3] Vidmar, M.: Die Gestalt der elektrischen Freileitung. Verlag Birkhäuser Basel 1952
- [4] Erker, A.: Werkstoffausnutzung durch festigkeitsgerechtes Konstruieren. VDI-Z. 86 (1942) 385 bis 395
- [5] Wagner, H. und Kimm, G.: Bauelemente des Flugzeuges. R. Oldenbourg, München 1942, S. 52
- [6] DIN 4114, Blatt 1 und 2
- [7] Bückner, W.: Die Entwicklung der Tragwerke von Freileitungen im In- und Ausland. Elektr.-Wirtsch. 57 (1958) 778 bis 785
- [8] Rieger, H.: Der Freileitungsbau. Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960, S. 194
- [9] Königshofer, E. und Girkmann, K.: Die Hochspannungs-Freileitungen. Springer Wien 1952, 2. Auflage
- [10] Tänzer, W., Fielitz, K. und Mors, H.: Stahlmaste für Starkstrom-Freileitungen. Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960, 3. Auflage
- [11] Bückner, W. und Rieger, H.: Freileitungsmaste mit drei Eckstielen. Siemens-Zeitschrift 30 (1956) 334 bis 341
- [12] Fritsche, R.: Die 110-kV-Bahnstromleitung Mainz-Bingen. Elektr. Bahnen 29 (1958) 204 bis 213
- [13] Bückner, W.: Freileitungsmaste mit Dreipunktgründung. Bericht über die Cigré-Tagung 1960

Wirkung und Auswahl der Erderanordnungen für Freileitungsmaste in Hochspannungsnetzen

VON KARL-HEINZ FEIST

Durch die Vergrößerung der Netzlängen und der Kurzschlußleistung sowie durch die unmittelbare Erdung von Netzsternpunkten in Höchstspannungsnetzen entstand auch beim Projektieren oder Anpassen der Freileitungserdungen eine Reihe neuer Probleme. Sie ergaben sich vor allem aus der Aufgabe, die Bedingungen der Schutz-erdung im Sinne der Vorschrift VDE 0141 zu erfüllen, d. h., Menschen gegen unzulässige Schritt- und Berührungsspannungen zu schützen. Dabei waren, soweit es wirtschaftlich sinnvoll erschien, die Bestimmungen über die Erdung gegen Blitzeinwirkungen zu beachten, d. h., ein rückwärtiger Überschlag mußte im Interesse der Betriebssicherheit unwahrscheinlich werden. Eine Betriebs-erdung, also die Erdung eines Punktes des Betriebsstromkreises, kommt an Freileitungsmasten in Hochspannungs-Drehstromnetzen kaum vor. Dagegen ist die Betriebs-erdung an Freileitungsmasten in Niederspannungsnetzen von Bedeutung, wobei besonders bei der Trennung von der Hochspannungserdung mehrere Umstände zu beachten sind.

Wenn die Erfordernisse der Erdung schon beim Projektieren einer Freileitung berücksichtigt werden, können später Schwierigkeiten und unnötige Kosten vermieden werden. Es soll hier deshalb versucht werden, einen Überblick über die Faktoren zu geben, die bei der Erdung in Netzen mit Nennspannungen über 1 kV zu beachten sind.

Freileitungen in Netzen mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußlöschung

Nach den Bestimmungen VDE 0141/6.61, §§ 17d und 15d, soll bei einem Erdschluß an einem Mast eines Netzes von 1 kV Nennspannung an möglichst keine höhere Erderspannung als 125 V an der Schutz-erdung bestehen-bleiben. Dabei ist vorauszusetzen, daß die Erdung des Hochspannungsmastes mit keiner Niederspannungserdung (VDE 0141, § 26) verbunden ist, was bei Mast-Transformatorstationen von Bedeutung ist. Da bei unmittelbarer Sternpunktterdung nach VDE 0141 und sinn-gemäß auch bei Sternpunktterdung über strombegren- zende Widerstände eine Schnellabschaltung erforderlich ist, gelten die erwähnten Bestimmungen über eine ein- zuhaltende Erderspannung nur für Erdschlußlöschung und für isolierten Sternpunkt. Berücksichtigt man noch, daß der Fehlerstrom bei isolierten Netzen der durch

Normalfall	
Netze mit isoliertem Netzsternpunkt: $Z_r \leq \frac{125 \text{ V}}{\text{Erdschlußstrom}}$	Netze mit Erdschlußlöschung: $Z_r \leq \frac{125 \text{ V}}{\text{Erdschlußreststrom}}$
Sonderfall	
Gilt für Mast-Transformatorstationen mit niederspannungs- seitig ausgedehntem Kabelnetz mit leitendem Außenmantel oder schwer möglicher Trennung der Hochspannungser- dung von der Niederspannungs-Betriebserdung (im Sinne von VDE 0141/11.58, § 26b)	
Netze mit isoliertem Netzsternpunkt $Z_r < \frac{65 \text{ V}}{\text{Erdschlußstrom}}$	Netze mit Erdschlußlöschung $Z_r \leq \frac{65 \text{ V}}{\text{Erdschlußreststrom}}$

$$Z_r \cdot \frac{\text{Erderspannung}}{\text{Fehlerstrom}} = \frac{Z_E}{2} r$$

Z_E Erdungswiderstand des Kettenleiters aus den Erdseil-Scheinwiderständen der Spann-
felder bei Stromrückleitung über Erde und den Ausbreitungswiderständen der
Masterdungen (bei abgehobenem Erdseil), gemessen von der Mitte des langen
Kettenleiters

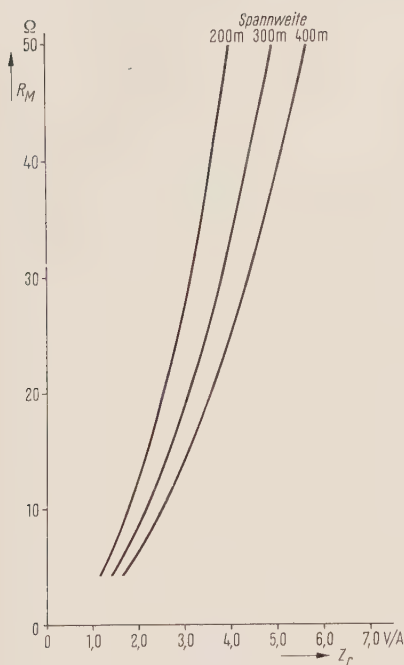
r Reduktionsfaktor der Freileitung

Tafel 1 Bestimmung des einzuhaltenden Quotienten Z_r
für Erdschluß und aufgelegtes Erdseil in Netzen mit isoliertem
Sternpunkt oder Erdschlußlöschung

die Erdkapazitäten bedingte Erdschlußstrom ist – bei einem Netz mit Erdschlußlöschung ist er der Erd-
schlußreststrom –, so ergeben sich für den Quotienten
aus Erderspannung und Fehlerstrom zulässige Werte Z_r ,
die aus Tafel 1 ermittelt werden können.

Je nach dem aufzulegenden Erdseil können die Ausbrei-
tungswiderstände [1, 2, 3] der Masterdungen bestimmt
werden [4], die bei abgehobenem Erdseil einzuhalten sind.
Die Bilder 1 und 2 zeigen solche Bemessungskurven für
verschiedene Anordnungen der Erdseile. Für weitere
Anordnungen sind in [5] Kurven zusammengestellt.

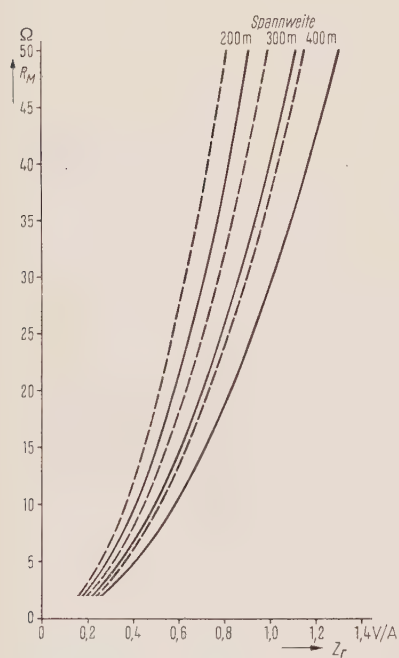
Es ist nun zu prüfen, ob bei den ermittelten Ausbreitungs-
widerständen der Masterdung noch eine ausreichende
Sicherheit gegen rückwärtigen Überschlag besteht.



$$Z_r = \frac{\text{Erderspannung}}{\text{Fehlerstrom}}$$

Voraussetzung: Der Blindwiderstand des Erdseiles unter der Wirkung des Erdrückstromes soll dem Blindwiderstand bei einem spezifischen Erdwiderstand von 200 Ω m entsprechen; andere Werte ergeben nur verhältnismäßig geringe Abweichungen

Bild 1 Für Netze mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußlöschung: Höchstzulässiger mittlerer Ausbreitungswiderstand R_M der Masterdung (bei abgehobenem Erdseil) in Abhängigkeit vom zulässigen Quotienten Z_r und von der Spannweite eines aufliegenden Stahl-erdseiles mit 50 mm² Querschnitt



$$Z_r = \frac{\text{Erderspannung}}{\text{Fehlerstrom}}$$

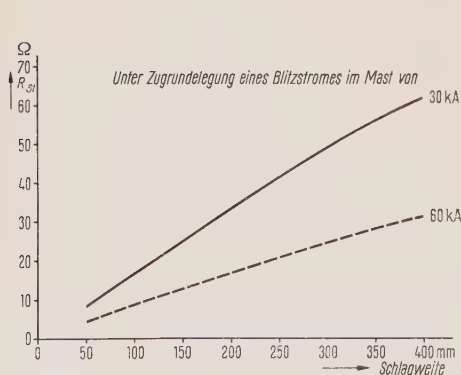
— Freileitungen mit einem Aluminium-Stahl-Erdseil 240/40 mm²

- - - Freileitungen mit zwei Aluminium-Stahl-Erdseilen 44/33 mm² in 15 m Abstand

(Derartige Leitungen sind meistens für den späteren Betrieb mit unmittelbarer Sternpunktterdung vorgesehen)

Voraussetzung: Der Blindwiderstand des Erdseiles unter der Wirkung des Erdrückstromes soll dem Blindwiderstand bei einem spezifischen Erdwiderstand von 200 Ω m entsprechen; andere Werte ergeben nur verhältnismäßig geringe Abweichungen

Bild 2 Für Netze mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußlöschung: Höchstzulässiger mittlerer Ausbreitungswiderstand R_M der Masterdung (bei abgehobenem Erdseil) in Abhängigkeit vom zulässigen Quotienten Z_r und von der Spannweite des aufliegenden Erdseiles



— Für Blitzströme von 30 kA im Mast

- - - Für Blitzströme von 60 kA im Mast

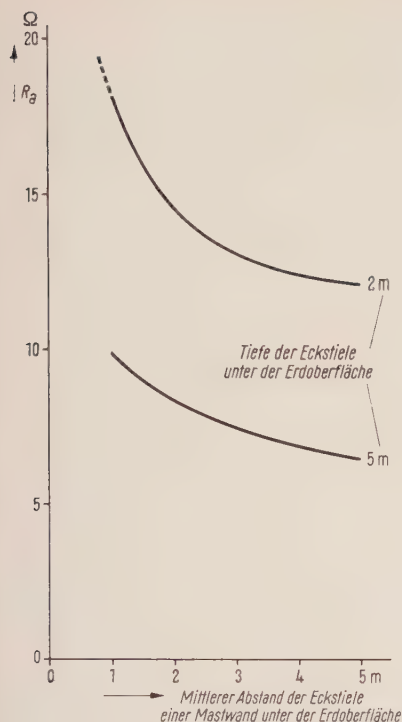
Bild 3 Einzuhaltender Stoßausbreitungswiderstand R_{st} der Masterdung in Abhängigkeit von der Schlagweite der Isolatorenkette (nach Messungen der 50%-Überschlagstoßspannung im Stoßprüffeld des Transformatorwerkes der Siemens-Schuckertwerke)

Bild 3 zeigt die einzuhaltenden Stoßausbreitungswiderstände der Masterdungen in Abhängigkeit von der Schlagweite verschiedener Arten von Isolatoren; für die Kennlinien wurden Blitzströme im Mast von 30 und 60 kA zugrunde gelegt. Nach den in die Bestimmungen VDE 0141 aufgenommenen Ergebnissen der Untersuchungen der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen [6, 7] über die Häufigkeit von Blitzströmen beträgt der Blitzstrom im Mast bei 91% aller Blitzschläge nicht mehr als 30 kA und bei 99% aller Blitzschläge nicht mehr als 60 kA.

Man wird zweckmäßigerweise schon beim Trassieren einer Freileitung den spezifischen Erdwiderstand an einigen Punkten der Freileitungstrasse ermitteln, damit der erforderliche Aufwand an Erdern überschlägig bestimmt werden kann. Wenn es bei Netzen mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußlöschung nur darauf ankommt, eine bestimmte Erderspannung und nicht bestimmte Schritt- und Berührungsspannungen einzuhalten, brauchen die Erder hier nur nach diesem Gesichtspunkt ausgewählt zu werden; außerdem muß noch der rückwärtige Überschlag bei Blitzschlägen berücksichtigt werden.

Bereits die im Beton oder – bei Schwellenfundamenten – im Erdreich befindlichen Teile der Eckstiele ergeben oft einen ausreichend geringen Ausbreitungswiderstand. Dieser Einfluß muß geschätzt werden. In Bild 4 ist hierzu der allein durch die Eckstiele bedingte Ausbreitungswiderstand abhängig von der Tiefe der Eckstiele im Erdreich oder Beton und von ihrem mittleren Abstand (Mastwandbreiten) unterhalb des Erdaustritts für 100 Ω m spezifischen Erdwiderstand aufgetragen. Diese aus berechneten Kurven [1] ermittelte Darstellung zeigt etwas ungünstigere Werte, als entsprechende Stichprobenmessungen im elektrolitischen Trog ergaben.

Werden durch die Eckstiele allein noch keine ausreichend niedrigen Widerstände erreicht, so kommt im allgemeinen der Anschluß von Zweistrahlen- oder Vierstrahlenerdern in Betracht. Da die übliche Berechnung des Ausbreitungswiderstandes der Vierstrahlenerder auf der willkürlichen Annahme beruht, daß der Strom gleichmäßig auf der gesamten Bandlänge austritt und die Strahlen nahe der Erdoberfläche verlegt sind, wurde im elektrolitischen Trog [8] der Siemens-Schuckertwerke untersucht, welche Ausbreitungswiderstände sich bei der tatsächlichen Verteilung des Strom-



Voraussetzungen:
Spezifischer Erdwiderstand 100 Ω m
Ersatzdurchmesser der Eckstiele 2''

Bild 4 Ausbreitungswiderstände R_a der Mastfüße allein bei Stahlmasten mit vier Eckstielen

Stäbe angeschlossen, die Staberden von 5 m Länge entsprechen. Die unteren Kurven in Bild 5 zeigen die für diese Kombination ermittelten Werte*. Der Ausbreitungswiderstand der Anordnung mit Stäben war nur wenig geringer als der einer Anordnung ohne Stäbe mit um Stabtiefe verlängerten Strahlen.

Bei Netzen mit Erdschlußlöschung brauchen die Erder nur so eingebracht zu werden, daß ein bestimmter Ausbreitungswiderstand nicht überschritten wird. In homogenem Erdreich sind Staberden in Verbindung mit Strahlenerden nur zweckmäßig, wenn die Kosten für das Einbringen des Materials je Längeneinheit nicht allzuviel größer sind als für das Verlegen der gleichen Bandlänge. Andere Verhältnisse können sich ergeben, wenn das Erdreich in der Tiefe einen beträchtlich geringeren spezifischen Erdwiderstand aufweist. Die Anordnung hat außerdem noch besondere Bedeutung bei unmittelbarer Sternpunktterdung des Netzes, worauf noch hingewiesen wird.

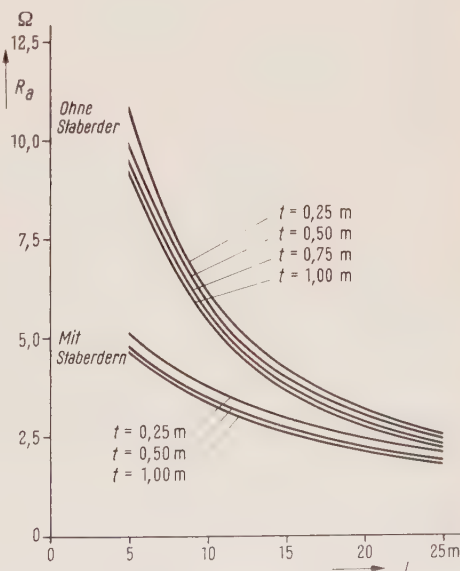
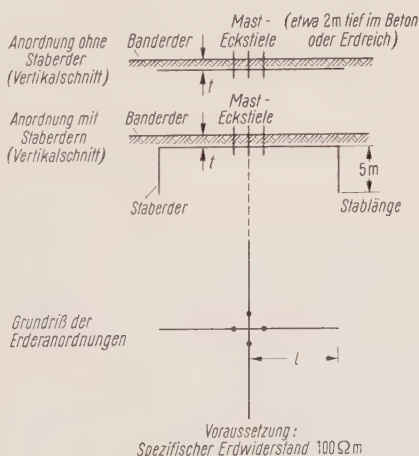
Besondere Bestimmungen gelten für die Erdung von Mast-Transformatorstationen. Um zu verhindern, daß an den öffentlich zugänglichen, geerdeten Teilen dieser Anlagen zu hohe Berührungsspannungen bestehenbleiben, soll bei einer Erderspannung bis 125 V ein Steuererder in 1 m Abstand vom Mast und in 0,5 m Tiefe verlegt (VDE 0141/6.61, § 18a) oder ein gleichwertiger Steuererder eingebracht werden. In diesem Zusammenhang interessiert es, welchen Anteil an der Erderspannung die Berührungs- und Schrittspannungen am Mast oder an geerdeten Teilen eines Mastes ausmachen. Bild 6 zeigt eine Potentialsteuerung für Stahlgittermaste mit vier Eckstielen und die Verhältniszahlen bei verschiedenen Mastwandbreiten, Bild 7 eine Anordnung für Holzmaste, dazu Verhältniszahlen; die Werte gelten für unendlich

austritts und bei den in der Praxis üblichen Verlegungstiefen von mindestens 0,5 m ergeben. Die oberen Kurven in Bild 5 zeigen den so ermittelten Ausbreitungswiderstand von Vierstrahlenerden für verschiedene Verlegungstiefen.

Man hat dann Strahlen- und Staberden kombiniert. An die Enden der Strahlen wurden im elektrolytischen Trog

* Die hierzu erforderlichen Messungen und einen großen Teil ihrer Auswertung übernahm H. FRIEDRICH.

Bild 5 Ausbreitungswiderstände R_a von Vierstrahlenerden mit und ohne Staberden an den Strahlenenden in Abhängigkeit von der Strahlenlänge l und der Verlegungstiefe t



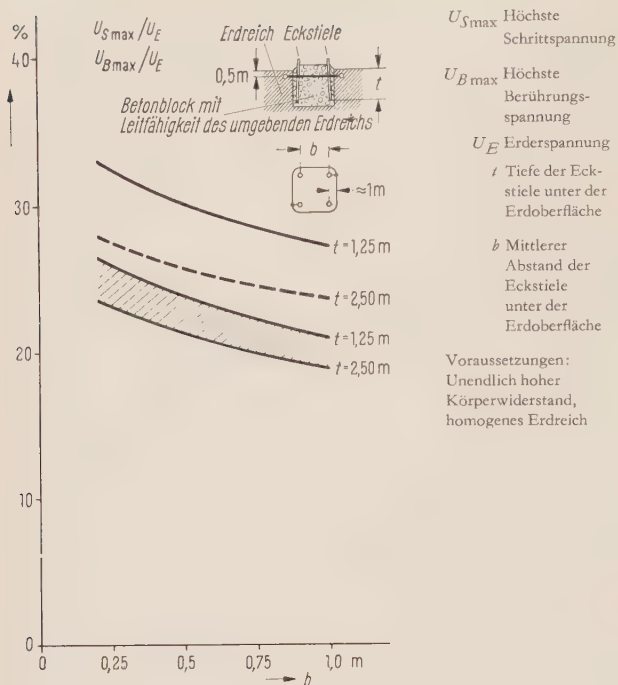


Bild 6 Potentialsteuerung nach VDE 0141/6.61, § 18, mit höchstens auf die Erderspannung U_E bezogenen Schritt- und Berührungsspannungen für Maste mit vier Stahlleckstiele bei verschiedener Mastwandbreite und Tiefe t der Mastfüße

hohen Körperwiderstand. Bei dem nach VDE 0141 zugrunde zu legenden Körperwiderstand von 3 k Ω können diese Prozentsätze nur kleiner sein.

Diese durch Messungen im elektrolytischen Trog ermittelten Ergebnisse sind von besonderer Bedeutung,

wenn bei einem hochspannungsseitigen Erdschluß eine höhere Erderspannung als 125 V bestehenbleibt. In diesem Fall ist entweder der Steuererder so auszubilden, daß die Berührungsspannungen 65 V und die Schrittspannungen 90 V nicht übersteigen (VDE 0141/6.61, § 18 c1), oder es ist zusätzlich zum Steuererder eine Schotterschicht aufzubringen.

Man erkennt aus den in den Bildern 6 und 7 angegebenen Werten, daß mit Rücksicht auf die einzuhaltenden Schritt- und Berührungsspannungen die Anordnungen bis zu einer Erderspannung von $\frac{90 V}{U_{Smax}/U_E}$ oder $\frac{65 V}{U_{Bmax}/U_E}$ unter Ausnutzung der Bestimmungen VDE 0141/6.61, § 18 c1 Absatz 2, verwendet werden können. Für U_{Smax}/U_E und U_{Bmax}/U_E sind die durch 100 dividierten Prozentwerte zu den in den Bildern 6 und 7 angegebenen Werten einzusetzen. Die für höhere Erderspannungen in Betracht kommenden Anordnungen werden im nächsten Abschnitt über Freileitungserdungen in Netzen mit unmittelbarer Sternpunktterdung beschrieben.

Der Grundsatz, an den geerdeten Teilen der Mast-Transformatorstationen keine höhere Berührungsspannung als 65 V und keine höhere Schrittspannung als 90 V bestehen zu lassen, wird durchbrochen, wenn gleichzeitig mit den an die Erdung der Anlagen über 1 kV angeschlossenen berührbaren Metallteilen auch metallene Teile der hiervon getrennten Erdung der Anlagen unter 1 kV berührt werden können.

Bei Nullung im Niederspannungsnetz können in diesem Fall berührbare Niederspannungsgeräte ohne Nachteil an die Hochspannungserdung angeschlossen werden, wenn bei einem niederspannungsseitigen Fehler noch

Mastschalter an Stahlmasten, Stahlbetonmasten oder Holzmasten mit geerdeten Isolatorträgern		Mastschalter an Holzmasten mit nichtgeerdeten Isolatorträgern
Nicht zum Betriebsstromkreis gehörende Metallteile (der Mastschalter) sind zu erden		
Die Erderspannung von 125 V kann eingehalten werden: Erdung ist ohne Rücksicht auf Potentialsteuerung zulässig (z.B. nur Vierstrahlenerder, nur Zweistrahlenerder). Steuererder in 1 m Abstand vom Mast und 0,5 m Tiefe oder gleichwertiger Erder kann vorgesehen werden (§ 18a)	Die Erderspannung von 125 V kann nicht eingehalten werden: Entweder einen Steuererder in 1 m Abstand vom Mast und in 0,5 m Tiefe auslegen und um den Mast eine 1 m breite, schlecht leitende Schotterschicht anbringen (§ 18c 1) oder einen Steuererder so auslegen, daß die Berührungsspannung nicht höher als 65 V und die Schrittspannung nicht höher als 90 V ist (§ 18c 1) oder – bei Holzmasten – den Schalter am benachbarten Mast erden; außerdem sind mechanisch zuverlässige und nicht durchschlagbare Isolatoren im Betätigungsgestänge für Reihenspannung des Schalters einzubauen. Die Antriebsteile unter dem Gestänge sind zu erden. In 1 m Abstand und 0,5 m Tiefe kann ein Steuererder ausgelegt werden (§ 18c 2)	In das Betätigungsgestänge sind mechanisch zuverlässige und nicht durchschlagbare Isolatoren einzubauen, der Antriebsteil unter dem Gestänge-Isolator (Reihenspannung sowie Schalter) ist zu erden. Zur Erdung kann ein Steuererder unter dem Bedienungsstandort vorgesehen werden (§ 18b 2)

Tafel 2 Erdung bei Mastschaltern. Zusammenstellung der Bestimmungen nach VDE 0141/6.61, § 18

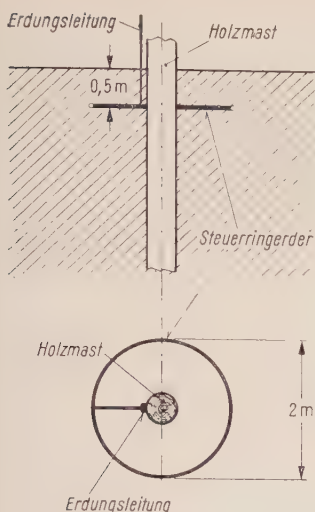


Bild 7 Potentialsteuerung nach VDE 0141/6.61, § 18, für Holzäste mit Erdungsleitungen: Maximum der Schrittspannung 29% der Erderspannung. Höchste Berührungsspannung für einen Berührenden in 1 m Entfernung von der Erdungsleitung: 28% der Erderspannung (Voraussetzungen wie bei Bild 6)

ein so großer Fehlerstrom fließt, daß der Fehler durch Abschaltung verschwindet.

Die zu den Bildern 6 und 7 zusammengestellten Ergebnisse sind auch für die Erdung von Mastschaltern wichtig. Falls hier bei Stahlmasten, Stahlbetonmasten oder Holzästen (Bild 7) mit geerdeten Isolatorträgern die Erderspannung von 125 V nicht einzuhalten ist, kann die Erdung mit Hilfe eines Steuerers so ausgeführt werden, daß die Berührungsspannung 65 V und die Schrittspannung 90 V nicht übersteigt. In Tafel 2 sind die verschiedenen für die Erdung von Masten mit Schaltern geltenden Bestimmungen aus VDE 0141 zusammengestellt.

Erderanordnungen für Maste in Netzen mit unmittelbarer Sternpunktterdung oder mit Sternpunktterdung über strombegrenzende Widerstände

Für die Erderspannung der Masten in Netzen mit unmittelbarer Sternpunktterdung oder mit Sternpunktterdung über strombegrenzende Widerstände ist in den diesbezüglichen Bestimmungen VDE 0141, Abschnitt V, kein zulässiger Höchstwert angegeben. Da es letztlich darauf ankommt, den Abgriff unzulässiger Spannungen durch Menschen praktisch unmöglich zu machen, sollen nach den Leitsätzen VDE 0141, Abschnitt V, an bestimmten Masten (VDE 0141, § 29b und c), deren Umgebung häufiger betreten wird, zulässige Schritt- und Berührungsspannungen eingehalten werden. Die zulässigen Werte sind in Kurvenform in VDE 0141, Bilder 6 und 7, angegeben. Wenn die zulässigen Schrittspannungen an den genannten Masten nicht eingehalten werden können, so muß die Möglichkeit eines Erdkurzschlusses im Bereich solcher Maste durch entsprechende Auswahl oder Überwachung der Isolatoren und niedrigen Stoßausbreitungswiderstand der Erdung (VDE 0141/6.61, § 29c) sehr unwahrscheinlich werden.

Beim Bau neuer Freileitungen, die in Netzen mit unmittelbarer Sternpunktterdung betrieben werden sollen, oder bei der Umstellung vorhandener Freileitungsnetze auf unmittelbare Sternpunktterdung ergibt sich für den projektierenden Ingenieur die Aufgabe, die zur Einhaltung der zulässigen Schritt- und Berührungsspannungen nach VDE 0141 erforderlichen Maßnahmen annähernd vorauszubestimmen.

Diese Aufgabe besteht aus zwei Teilaufgaben:

1. Die zu erwartende Erderspannung muß bestimmt werden; sie hat als Rechenhilfsgröße Bedeutung.
2. Die Erderanordnungen, bei denen die zulässigen Schritt- oder Berührungsspannungen für die festgestellte Erderspannung eingehalten werden, sind zu ermitteln.

Je niedriger die Erderspannung ist, um so leichter ist die zweite Teilaufgabe zu lösen.

Wie schon früher an anderer Stelle dargelegt [4, 9], ist bei einem Fehler im mittleren Abschnitt einer langen Leitung die Erderspannung U_E das Produkt aus dem (gemäß Reduktionsfaktor \bar{r}_F der Leitung) reduzierten Erdkurzschlußstrom und dem Erdungswiderstand $Z_F/2$, den die über das Erdseil verbundenen Masterdungswiderstände R_m bei Messung im mittleren Abschnitt der Freileitung ergeben. Mit dem Erdkurzschlußstrom I_K ergibt sich die Erderspannung zu:

$$U_E = I_K \bar{r}_F \frac{Z_F}{2} \quad (1)$$

Diese Beziehung gilt nur für gleiche Erdseilbelegung in den Spannungsfeldern beiderseits der Fehlerstelle. Der Faktor $\bar{r}_F Z_F/2$ ist in den Bildern 1 und 2 als Abszisse aufgetragen und kann für diese Erdseilanordnungen aus Spannweite und Masterdungswiderstand bei abgehobenem Erdseil bestimmt werden. Er ist aus den Daten der Freileitung und den Masterdungswiderständen bei abgehobenem Erdseil unter Benutzung der beiden folgenden Beziehungen zu errechnen [4, 9]:

$$\bar{r}_F = \frac{R'_2 + j\omega(L_2 - M'_{12})}{R'_2 + R'_E + j\omega L'_2} \quad (2)$$

$$Z_F = \sqrt{R'_m(R'_2 + R'_E + j\omega L'_2)} \Delta x \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

- R'_2 Gleichstromwiderstand des Erdseiles je Längeneinheit
- R'_E Durch Induktion im Erdseil bedingter Widerstand je Längeneinheit bei Stromrückleitung über Erde
- $j\omega L'_2$ Durch Induktion im Erdseil bedingter Blindwiderstand je Längeneinheit bei Stromrückleitung über Erde

$j\omega M'_{12}$ Blindkomponente der auf die Längeneinheit bezogenen Kopplungsimpedanz zwischen Hauptleitern und Erdseilen

$R_m = c R_M$ (R_M Masterdungswiderstand bei abgehobenem Erdseil)

mit

$c \approx 1,15$ bei Aluminium-Stahl-Erdseilen

$c \approx 1,20$ bei Stahlerdseilen

Δx Spannweite

Es soll hier nur erwähnt werden, daß der Faktor $r_F \bar{Z}_F/2$ auch durch Messung ermittelt werden kann [9].

In einigen Fällen interessiert es, wie groß die Erderspannung bei einem Erdkurzschluß an einem Mast ist, der vom Umspannwerk um eine normale Spannfeldlänge entfernt ist. Diese verhältnismäßig kleine Entfernung zwischen Fehlerpunkt und einem Umspannwerk I wird nachfolgend mit l_I bezeichnet. Es wird außerdem der ungünstige Fall angenommen, daß die Entfernung l_{II} zum Umspannwerk II am anderen Freileitungsende groß ist (Bild 8).

Durch Einsetzen der Anfangsbedingungen in die Lösungsgleichungen für das Erdseilpotential [4] erhält man für die Erderspannung \bar{U}_E die Näherungsgleichung:

$$\bar{U}_E \approx r_F \bar{I}_{II} Z_{sI} + \bar{r}_F (\bar{I}_I + I_{II}) \bar{Z}_F \bar{v} l_I \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

Z_{sI} Erdungswiderstand der nahen Station

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{(R'_2 + R'_E + j\omega L'_2) \Delta x}{R_m}} \text{ Fortpflanzungskonstante}$$

Für Maste, die nur wenige Meter vor dem Umspannwerk stehen ($l_I \rightarrow 0$) geht Gleichung (4) in den Ausdruck für die Erderspannung einer Umspannwerk-Erdung [9] über.

Die Gleichungen und Messungen an erstellten Freileitungen zeigen, daß die Erderspannung außer durch Verminderung des Fehlerstromes auch durch Auflegen von Aluminium-Stahl-Erdseilen oder Kupferpanzer-Stahl-

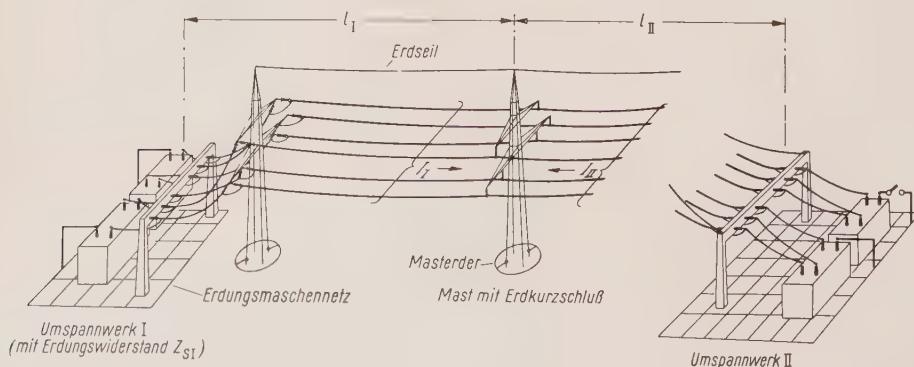
Erdseilen anstelle von Stahlerdseilen vermindert werden kann, da $|\bar{r}_F \bar{Z}_F|$ dann kleiner wird. Mit zwei dünneren Erdseilen läßt sich die Erderspannung weiter senken als mit einem dickeren Erdseil gleichen Leitwertes. Auch durch Vermindern der Masterdungswiderstände bei abgehobenem Erdseil läßt sich der Wert $|Z_F|$ verringern, allerdings nur proportional der Wurzel aus den Masterdungswiderständen; eine Halbierung der Masterdungswiderstände bringt also nur eine Absenkung der Erderspannung auf etwa 70%.

Wenn die zu erwartende Erderspannung durch Rechnung oder Messung [9] bestimmt ist, dann können geeignete Erderanordnungen ausgewählt werden.

Entsprechend den Bestimmungen VDE 0141/6.61, § 29b, sollen auf verkehrsreichen Fahrwegen, deren Rand weniger als 15 m von den Mastfundamenten entfernt ist, die zulässigen Schrittspannungen eingehalten werden. Bild 9 zeigt, welche Quotienten sich aus höchster Schrittspannung und Erderspannung unter der Voraussetzung unendlich hohen Körperwiderstandes für verschiedene Lagen der im gleichen Bild gezeigten Potentialsteuerung ergeben. Die zulässigen Schrittspannungen brauchen nach VDE 0141 jedoch nur bei einem Körperwiderstand von 3 kΩ und bei Nachbildung der Fußsohlen durch Elektroden von 200 cm² Fläche mit je 25 kg Gewicht eingehalten zu werden.

Der Quotient aus höchster Schrittspannung und Erderspannung wird unter diesen Voraussetzungen bei schlecht leitendem Boden oder wenigstens schlecht leitender oberer Bodenschicht noch geringer als der im elektrolitischen Trog für unendlich hohen Körperwiderstand ermittelte Wert.

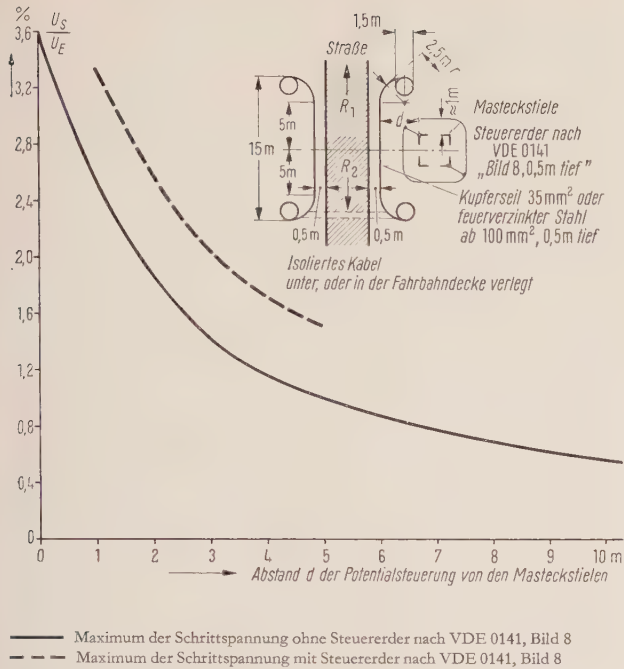
Nach § 29c der Bestimmungen VDE 0141 gelten für Maste in Ortschaften, auf bewohnten Grundstücken oder in gewerblichen Anlagen die zulässigen Schritt- und Berührungsspannungen nach den unteren Kurven der in den VDE-Bestimmungen gezeigten Bilder 6 und 7. Wenn von der Möglichkeit, schlecht leitende Bodenschichten aufzubringen, kein Gebrauch gemacht werden kann (z. B. bei Masten in Kleingärten), so besteht eine



\bar{I}_I Summe der Nullströme (Stromsumme) in den Hauptleitern links der Fehlerstelle

\bar{I}_{II} Summe der Nullströme (Stromsumme) in den Hauptleitern rechts der Fehlerstelle

Bild 8 Fehlerschema mit Strömen zur Ermittlung der Erderspannung bei einem Erdkurzschluß der Freileitung nahe einem Umspannwerk



Voraussetzungen: Unendlich hoher Körperwiderstand, homogenes Erdreich

Bild 9 Höchste auf die Erderspannung U_E bezogene Schrittspannung U_S auf Straßen bei Potentialsteuerung der Fahrbahn in Mastnähe in Abhängigkeit vom Abstand d der Potentialsteuerung von den Mastestählen

besondere Schwierigkeit darin, daß fast die volle Potentialdifferenz zwischen den Fußaufsetzpunkten als Schrittspannung zugrunde zu legen ist. Damit die zulässigen Schrittspannungen eingehalten werden, darf das Potentialgefälle mit der Entfernung vom Mast einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Dies ist bei hohen Erderspannungen nur möglich, wenn in einem entsprechend großen Geländebereich eine Potentialsteuerung des Erdbodens durchgeführt wird. Verhältnismäßig günstig verhielten sich in dieser Beziehung Vierstrahlererder mit 1 m tief liegenden Strahlenenden, an die noch ein Staberder angeschlossen wurde (s. Bild 5). Das Maximum der Schrittspannung über den Strahlenenden konnte bei 15 m Strahlenlänge bis auf $71/2\%$ der

Erderspannung für unendlich hohen Körperwiderstand verringert werden. Um zu hohe Schrittspannungen vor den Eckstählen dieser Anordnung zu vermeiden, sind noch drei Steuererdungsringe in verschiedenen Tiefen einzubringen.

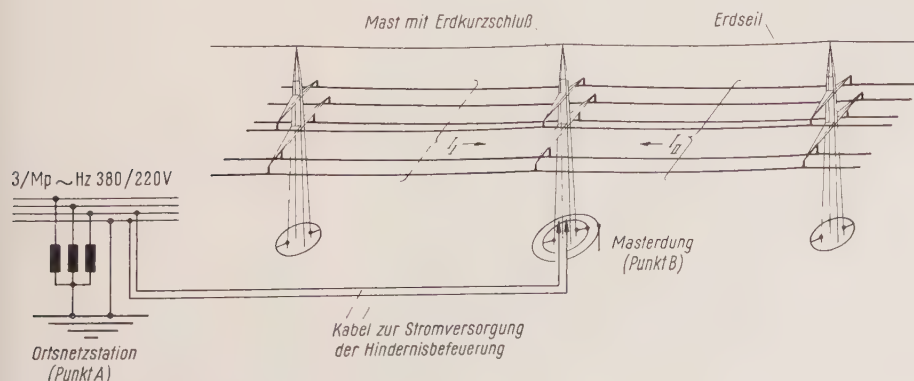
Aufgrund der Untersuchungen im elektrolytischen Trog und der Messungen an Freileitungsmasten bei nachgebildeten Erdschlüssen konnten Erderanordnungen auch für verschiedene Sonderfälle entwickelt werden. In einigen Fällen bestand die Aufgabe darin, das Potential des Mastes in einem Geländebereich, in dem man keine bestimmte Schrittspannung einzuhalten braucht, oder unter schlecht leitenden Bodenschichten (z. B. Asphalt) steil abzubauen, um in anderen Geländebereichen ein geringes Potentialgefälle zu haben.

In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen, daß die bei unmittelbarer Sternpunktterdung vorkommenden höheren Erderspannungen auch bei der Auswahl der Fernmelde- und Niederspannungskabel (z. B. zur Hindernisbefeuern) berücksichtigt werden müssen, die in den Spannungstrichter eingeführt werden. Im allgemeinen wird die Isolation solcher Kabel dabei sowohl durch Induktion als auch durch die Erderspannung beansprucht, so daß die Art der Überlagerung beider Spannungsbeanspruchungen interessiert.

Die schematische Darstellung in Bild 10 zeigt ein Zweileiter-PROTODUR*-Kabel ohne metallische Umhüllung, das von der bei A befindlichen 380-V-Wicklung eines Ortsnetztransformators bis an den Mast bei B geführt ist. Der Sternpunkt der 380-V-Wicklung ist bei A geerdet. Es wird angenommen, daß das Kabel nicht belastet ist, so daß in den Adern keine Spannungsfälle infolge des Belastungsstromes auftreten.

Untersucht werde die Spannung der einen am Transformatorsternpunkt bei A geerdeten Ader des Kabels im Bereich des Mastes gegen die Maststahlkonstruktion. Zu diesem Zweck können die induzierten Spannungen und die ohmschen Spannungsfälle für einen

* Eingetragenes Warenzeichen



I_I Summe der Nullströme (Stromsumme) in den Hauptleitern der Freileitung links der Fehlerstelle

I_{II} Summe der Nullströme (Stromsumme) in den Hauptleitern der Freileitung rechts der Fehlerstelle

Bild 10 Fehlerschema zur Ermittlung der Überlagerung der ohmschen und induktiven Beeinflussung eines in den Spannungstrichter einer Mastterdung eingeführten Niederspannungskabels

Linienzug über die Kabelader von B nach A und im Erdreich unmittelbar neben dem Kabel von A nach B zurück bis zur geerdeten Mastkonstruktion addiert werden. Da die von der Hauptleiterstromsumme I_I der Freileitung induzierte Spannung in den Adern des Niederspannungskabels praktisch ebenso groß ist wie im Erdreich unmittelbar daneben, heben sich diese induzierten Spannungen für den erwähnten Linienzug gegenseitig auf. Der im Erdreich parallel zur Freileitung fließende Rückstrom $r_F I_I$ ruft jedoch an den ohmschen Widerständen des Erdreiches ohmsche Spannungsfälle hervor. Die phasengerechte zusammengesetzte Summe dieser ohmschen Spannungsfälle für den Linienzug im Erdreich neben dem Niederspannungskabel von A nach B ist die Spannung zwischen Ader und Masterdern bei B .

Außerhalb des Bereiches der Masterder sind die vom Erdrückstrom verursachten ohmschen Spannungsfälle an den ohmschen Widerständen der Abschnitte des Erdreiches gerade so groß, daß sie die durch die induzierten Spannungen verursachten Potentialdifferenzen aufheben. Innerhalb des Spannungstrichters können die ohmschen Spannungsfälle zerlegt werden in einen Anteil, der die induzierten Spannungen aufhebt, und einen Rest, der für die sogenannte ohmsche Beeinflussung maßgebend ist.

Ist das Niederspannungskabel zwischen A und B zur Freileitung parallel geführt, so ist, außer in der nahen Umgebung des Fehlerpunktes bei B , eine konstante Kopplungsimpedanz je Längeneinheit $j\omega M'$ vorhanden. Bei Parallelführung über eine größere Länge l ist die durch Induktion erzeugte Potentialdifferenz von A gegen B :

$$U_{AB \text{ ind}} = \bar{r}_F I_I j\omega M' l \quad (5)$$

Zur Aufhebung dieser Potentialdifferenz ist zwischen A und B eine Summe von ohmschen Spannungsfällen erforderlich:

$$U_{AB}'' = -U_{AB \text{ ind}} \quad (6)$$

$$U_{AB}'' = -\bar{r}_F \bar{I}_I j\omega M' l \quad (7)$$

Die Masterder bei B nehmen aber gegenüber der Bezugs-erde, bei dieser Untersuchung auch gegenüber A , die Erderspannung U'_{BA} an:

$$U'_{BA} = \bar{r}_F (I_I + I_{II}) \frac{Z_F}{2} \quad (8)$$

Die Spannung von A gegen B ist dann

$$U'_{AB} = -\bar{r}_F (\bar{I}_I + I_{II}) \frac{Z_F}{2}$$

Die Überlagerung der beiden Arten von ohmschen Spannungsfällen im Erdreich ergibt also

$$\bar{U}'_{AB} + \bar{U}''_{AB} = -\bar{r}_F \left[(\bar{I}_I + I_{II}) \frac{Z_F}{2} + I_I j\omega M' l \right] \quad (9)$$

Diese Spannung tritt, wie festgestellt, in B zwischen der bei A geerdeten Ader und den Masterdern auf.

Wenn I_I und I_{II} etwa phasengleich sind, so werden die beiden Spannungszeiger \bar{U}'_{AB} und \bar{U}''_{AB} , die die Isolation der Ader gegenüber den mit der Mastkonstruktion verbundenen Metallteilen beanspruchen, unter einem spitzen Winkel zusammengesetzt, denn $Z_F/2$ hat, wie Gleichung (3) ausdrückt, einen Impedanzwinkel unter 45° und $j\omega M' l$ einen Impedanzwinkel von etwas weniger als 90° .

In vielen Fällen wird man nur um ein wenig ungünstig rechnen, wenn man aus den beiden Spannungen $|\bar{U}'_{AB}|$ und $|\bar{U}''_{AB}|$ die arithmetische Summe bildet.

Außer der Wirkung der Freileitungsmasterder beim Durchgang der 50-Hz-Erdkurzschlußströme ist auch bei unmittelbarer Sternpunkterdung, besonders wegen der Bedeutung der in solchen Netzen betriebenen Leitungen, das Verhalten der Masterder beim Durchgang von Blitzströmen zu berücksichtigen. Nach VDE 0141/6.61, § 29a, sollen in Netzen für 110 kV und mehr mit unmittelbarer Sternpunkterdung oder mit Sternpunkterdung über strombegrenzende Widerstände diejenigen Freileitungsmaste, die in landwirtschaftlich genutzten Gebieten aufgestellt werden, einen an den Mast angeschlossenen Ringerder erhalten. Mit dieser Erderanordnung allein lassen sich allerdings rückwärtige Überschläge an 110-kV-Masten bei höheren spezifischen Erdwiderständen noch nicht mit ausreichender Wahrscheinlichkeit vermeiden [8]. Es wird vielmehr erforderlich, den Ring mit anderen Erdern, z. B. mit Zweistrahlenerdern bei auf 1 m Tiefe abgesenkten Strahlenerden oder mit Vierstrahlenerden (s. Bild 5), zu kombinieren, um auch bei dem höheren spezifischen Erdwiderstand noch einen ausreichend niedrigen Stoßausbreitungswiderstand zu erreichen.

Schrifttum

- [1] Koch, W.: Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV. Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1961
- [2] Rieger, H.: Der Freileitungsbau. Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960, S. 146 und 147
- [3] Feist, K.-H.: Erdung in Schaltanlagen. Siemens-Schuckertwerke AG, Druckschrift SSW 500.12/232, S. 6 und 7
- [4] Feist, K.-H.: Die Erderspannung geerdeter stromdurchflossener Leiter bei Wechselstrom niedriger Frequenz und ihr elektrisches Strömungsfeld im Erdreich. Diss. TH Hannover, eingr. Okt. 1958, S. 53 bis 64 und Darstellungen 30 bis 37
- [5] Formel- und Tabellenbuch für Starkstrom-Ingenieure. 2. Aufl. Herausgeber Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen. Verlag W. Girardet, Essen, 1960, S. 376 bis 378
- [6] Baatz, H.: Blitzeinschlag-Messungen in Freileitungen. Elektrotechn. Z. **72** (1951) 191 bis 198
- [7] VDE 0141/6.61, § 32
- [8] Feist, K.-H.: Einsatz des elektrolytischen Troges zur Lösung von Aufgaben der Erdungsprojektion und anderer Probleme der Netzplanung. Siemens-Zeitschrift **33** (1959) 444 bis 450
- [9] Feist, K.-H.: Der Einfluß der Sternpunktbehandlung auf die Bemessung der Erdungsanlagen in Hochspannungsnetzen. Elektr.-Wirtsch. **57** (1958) 105 bis 112

Berechnung der Beleuchtungsstärken bei Handlaufleuchten

VON JOSEF ROCH

Zur Beleuchtung neuer Hochstraßen und Brücken werden in letzter Zeit in steigendem Maße Handlaufleuchten verwendet.¹⁾ Das sind Spiegelleuchten mit eng begrenzter Lichtausstrahlung, die auf dem Holm des Geländers angebracht sind. Ihre Aufgabe besteht darin, durch hohe Vertikalbeleuchtungsstärken einen großen Leuchtdichtekontrast zwischen den Fahrzeugen und der Fahrbahn zu schaffen. Die geringe Höhe der Leuchten über dem Boden (etwa 1,2 m) verlangt aber, daß in Augenhöhe der Fahrer keine störende Lichtausstrahlung auftritt. Wegen der unterschiedlichen Sitzhöhe der Fahrer in den verschiedenen Fahrzeugarten (Tafel 1) ist jedoch eine klare Abschirmung nur schwer mit der Forderung ausreichender Beleuchtungsstärken in Einklang zu bringen.

So besteht z. B. für die Fahrer niedriger Sportwagen aufgrund der geringen Augenhöhe die Gefahr der Blendung, wenn die Handlaufleuchte in der oft zur Verfügung stehenden Lichtpunkthöhe von 1,2 m angebracht wird.

Um die Blendung zu verhindern, wird die erforderliche Ausstrahlung so durch Querlamellen (Bild 1) abgeschirmt, daß die Augen des Fahrers nicht von frontal eintretendem Licht getroffen werden können. Am besten ge-

eignet hierzu sind Spiegelleuchten in Verbindung mit Reflexschicht-Leuchtstofflampen. Bild 2 zeigt die Lichtverteilungskurven einer solchen Leuchte. Beim Projektieren muß man die geeignete Lichtverteilungskurve durch Berechnen der verschiedenen Beleuchtungsstärken feststellen und zugleich prüfen, ob sich in den verschiedenen Ebenen genügende Leuchtdichtekontraste ergeben. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um drei verschiedene Komponenten der Beleuchtungsstärke:

1. Die horizontale Beleuchtungsstärke E_H , die man auf der Fahrbahn in verschiedenen Abständen vom Lichtband ermittelt (in Bild 3 links).
2. Die vertikale Beleuchtungsstärke E_{VP} , bei deren Messung man das Fotoelement parallel zum Lichtband hält, die also für die Aufhellung der Fahrzeugflanken wichtig ist. Man berechnet sie für verschiedene Entfernungen vom Lichtband und für verschiedene Höhen über der Fahrbahn, z. B. 0,0 m, 0,5 m, 1 m, 2 m (in Bild 3 rechts).
3. Die vertikale Beleuchtungsstärke E_{VS} , die senkrecht zum Lichtband gemessen wird und die für die Aus-

1) Smiatek, G.: Beleuchtung von Hochstraßen und Tunneln. Siemens-Zeitschrift 35 (1961) 515 bis 520



Bild 1 Handlaufleuchten mit Spiegel und Querlamellen für 65-W-Reflexschichtlampen

leuchtung der Vorder- und Hinterfront der Fahrzeuge wichtig ist. Sie gibt zugleich Aufschluß über die Blendfreiheit, d. h. über die Abschirmung des Licht-

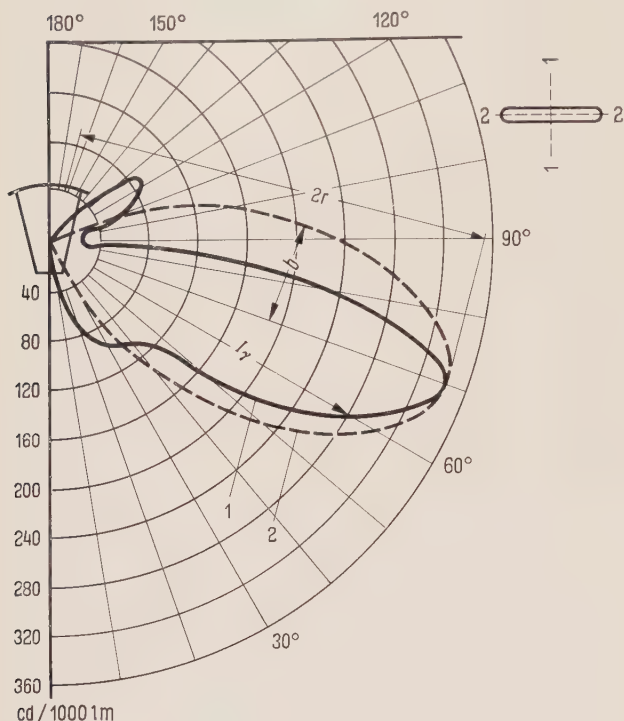


Bild 2 Lichtverteilungskurve der Handlaufleuchte, bezogen auf einen Lampenlichtstrom von 1000 lm

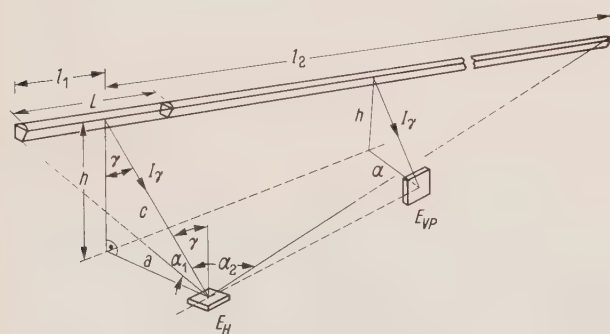


Bild 3 Darstellung der verschiedenen Längen und Winkel zum Berechnen von E_H und E_{VP}

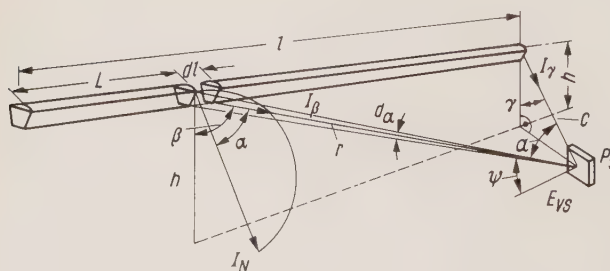


Bild 4 Lage und Größe der einzelnen Berechnungsgrößen für E_{VS}

Sportwagen	1,0 m
Kleinwagen	1,05 bis 1,15 m
Übliche Personenkraftwagen	1,2 bis 1,3 m
Motorradfahrer	1,3 m
Radfahrer	1,4 bis 1,5 m
Fußgänger	1,4 bis 1,7 m
Kleine Lieferwagen	
und kleine Lastkraftwagen	1,6 bis 1,9 m
Omnibusse, große Lastkraftwagen	2,1 bis 2,3 m

Tafel 1 Augenhöhe der Fahrer verschiedener Fahrzeuge und von Fußgängern

bandes. Die zweckmäßige Berechnung geschieht in Ebenen, die parallel zueinander in verschiedenen Entfernungen vom Lichtband zu denken sind (Bild 4).

Berechnung der horizontalen Beleuchtungsstärke

Zur Berechnung der horizontalen Beleuchtungsstärke kann ein 1958 veröffentlichtes Verfahren²⁾ angewendet werden, wobei als Sonderfall ein praktisch unendlich langes Lichtband berücksichtigt werden muß. Dieser Fall liegt bereits dann vor, wenn die Lichtbandlänge etwa das Zehnfache der Straßenbreite beträgt.

Nach der erwähnten Veröffentlichung ergibt sich E_H (s. auch Bild 3) zu:

$$E_H = \frac{I' h}{C^2} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \quad (1)$$

$$\text{wobei } \varepsilon = \frac{d^2}{1-d^2} \left[\frac{1}{d} \arctan \left(\frac{\tan \alpha}{d} \right) - \alpha \right]_0^\alpha \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

E_H Horizontale Beleuchtungsstärke in lx

h Lichtpunkthöhe in m

C Kürzester Abstand des Punktes P vom Lichtband in m

ε Anteil der Beleuchtungsstärke im Bereich der Winkel α_1 und α_2

$$I' = \frac{I_\gamma \Phi_{\text{ges}}}{L \cdot 1000} \text{ in cd/m}$$

I_γ Lichtstärke im Winkel γ entsprechend der Lichtverteilungskurve für 1000 lm (Ebene $a-b$ senkrecht zur Leuchte)

Φ_{ges} Gesamtlichtstrom aller Lampen einer Leuchte in lm

L Gesamtlänge einer Leuchte in m

2) Roch, J.: Berechnung der Beleuchtungsstärken bei Lichtbändern, Lichttechn. 9 (1958) 613 bis 615

$d = b : r$ Drückungsfaktor der Lichtverteilungskurve in den Ebenen $c-d$ parallel zur Leuchte (Bild 1)

(b Breite der kleinen, r Länge der großen Ellipsenhalfachse)

Für Lichtbänder von Handlaufleuchten kann man die Gleichungen (1) und (2) vereinfachen und zusammenfassen. Unter der Annahme eines unendlich langen Lichtbandes kann $\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ = \pi/2$ gesetzt werden.

Damit läßt sich Gleichung (2) umformen:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2} \frac{d}{1 + d} \tag{3}$$

Für die horizontale Beleuchtungsstärke kann somit, da $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ ist, bei Anlagen mit Handlaufleuchten gesetzt werden:

$$E_H = \frac{I_\gamma \Phi_{\text{ges}}}{C^2 \cdot 1000} \frac{h \cdot 2 \varepsilon}{L} \tag{4}$$

oder $E_H = \frac{I_\gamma}{C^2} \text{const} \tag{4a}$

Durch diese Konstante, die für die jeweilige Anordnung charakteristisch ist, vereinfacht sich die Berechnung erheblich.

Berechnungsbeispiel für E_H

Es wird angenommen, daß Handlaufleuchten in der Höhe von $h = 1,2\text{ m}$ angebracht sind und daß die 65-W-Leuchten eine Lichtverteilungskurve entsprechend Bild 2 haben. Mit Gleichung (4 a) kann dann E_H berechnet werden. Setzt man $\Phi_{\text{ges}} = 3700\text{ lm}$, $L = 1,66\text{ m}$, $d = 0,41$ (aus Bild 2), so ergibt sich nach Gleichung (3) $\varepsilon = 0,465$.

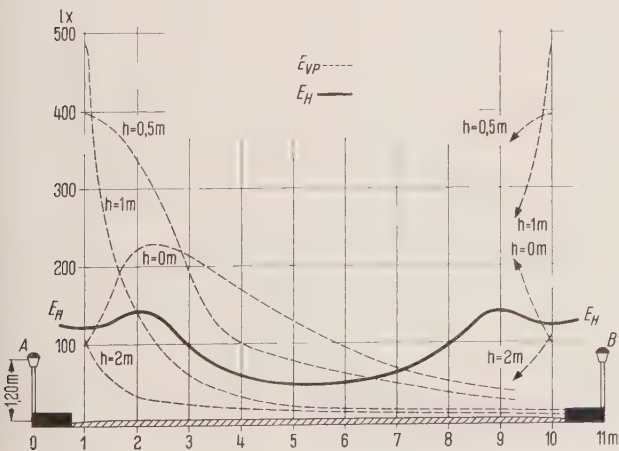


Bild 5 Verlauf der horizontalen Beleuchtungsstärke E_H und der vertikalen Beleuchtungsstärke E_{VP} bei Anordnung der Lichtbänder auf beiden Straßenseiten

Die horizontale Beleuchtungsstärke für diese Anordnung ist:

$$E_H = \frac{I_\gamma}{C^2} \cdot 2,5 \tag{5}$$

Bild 5 zeigt die Verteilung der Beleuchtungsstärke für eine zweireihige Anordnung der Lampen entsprechend Bild 7.

Berechnung der vertikalen Beleuchtungsstärke parallel zum Lichtband

Aus Bild 3 wird leicht erklärlich, daß

$$\frac{E_{VP}}{E_H} = \frac{a}{h} \text{ ist.}$$

Daraus ergibt sich

$$E_{VP} = E_H \frac{a}{h} \tag{6}$$

oder sinngemäß nach Gleichung (4):

$$E_{VP} = \frac{I_\gamma a}{C^2} \frac{\Phi_{\text{ges}}}{1000} \frac{2 \varepsilon}{L} \tag{7}$$

oder $E_{VP} = \frac{I_\gamma a}{C^2} \text{const} \tag{7a}$

Berechnungsbeispiel für E_{VP}

Mit den bereits genannten Daten für Φ_{ges} , L und ε errechnet sich die vertikale Beleuchtungsstärke parallel zum Lichtband:

$$E_{VP} = \frac{I_\gamma a}{C^2} \cdot 2,08 \tag{8}$$

Bild 5 zeigt den Verlauf der Beleuchtungsstärke quer zur Fahrbahn, sowohl am Erdboden als auch in den Höhen 0,5 m, 1 m und 2 m.

Vertikale Beleuchtungsstärke senkrecht zum Lichtband

Die vertikale Beleuchtungsstärke E_{VS} wird berechnet, indem man die Teilbeleuchtungsstärke eines Leuchtenstückes unendlich kleiner Länge entsprechend Bild 4 berechnet und die Anteile integriert. Diese Teilbeleuchtungsstärke ergibt sich zu

$$dE_{VS} = \frac{I_\beta \cos \Psi}{r^2} = \frac{I_\beta \sin \alpha}{r^2}$$

Bezeichnet man die Lichtstärke senkrecht zu einer Leuchte in der Ebene vom Lichtband zum Punkt P_3 mit I_γ und die Leuchtenlänge mit L , so beträgt die Lichtstärke je Meter:

$$I' = \frac{I_\gamma}{L}$$

Bezogen auf die Länge dl folgt daraus

$$I_N = I' dl$$

Die Gleichung einer Lichtverteilungskurve von Ellipsenform²⁾ lautet:

$$I_{\beta} = I_N \frac{d^2 \cos \alpha}{\sin^2 \alpha + d^2 \cos^2 \alpha} \quad (9)$$

wobei d den bereits erwähnten Drückungsfaktor der elliptischen Lichtverteilungskurve bezeichnet (Verhältnis der beiden Halbachsen zueinander). Ersetzt man ferner

$$r = \frac{C}{\cos \alpha} \quad \text{und} \quad d\alpha = \frac{C d \alpha}{\cos^2 \alpha}$$

so erhält man die Teilbeleuchtungsstärke zu:

$$dE_{VS} = \frac{I'}{C} \frac{d^2 \cos \alpha \sin \alpha}{\sin^2 \alpha + d^2 \cos^2 \alpha} d\alpha$$

$$E_{VS} = \frac{I'}{C} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{d^2 \cos \alpha \sin \alpha}{\sin^2 \alpha + d^2 \cos^2 \alpha} d\alpha = \frac{I'}{C} \varepsilon_S$$

Die Lösung des Integrals ε_S lautet:

$$\varepsilon_S = \frac{d^2}{2(1-d^2)} \left[\ln \left(\frac{\tan^2 \alpha}{d^2} + 1 \right) - \ln \left(\tan^2 \alpha + 1 \right) \right] \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2}$$

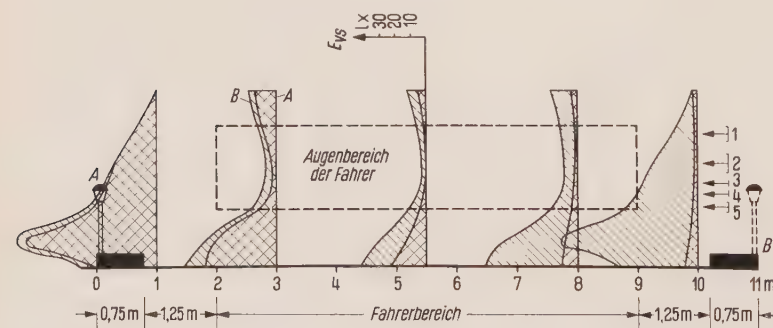
Für die Berechnung genügt der Fall $\alpha_2 = 90^\circ$, $\alpha_1 = 0^\circ$ (also Lichtbandlänge unendlich); deshalb vereinfacht sich die vorstehende Gleichung zu

$$\varepsilon_S = - \frac{d^2}{1-d^2} \ln d \quad (10)$$

Tafel 2 enthält einige berechnete Werte für ε_S .

(Das negative Vorzeichen von ε_S wird durch den negativen Betrag von $\ln d$ wieder aufgehoben.)*

* Für den Grenzwert $d = 1$ müssen, da sich ein unbestimmter Wert 0/0 ergibt, nach DE L'HOSPITAL Zähler und Nenner getrennt differenziert werden.



Augenhöhe der Fahrer in den verschiedenen Kraftfahrzeugen:

- | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1 Große Lastkraftwagen und Omnibusse | 2 Kleine Lastkraftwagen | 4 Übliche Personenkraftwagen |
| | 3 Radfahrer | 5 Sport- und Kleinwagen |

Bild 6 Verlauf der vertikalen Beleuchtungsstärke E_{VS} bei der zweiseitigen Anordnung. Zum Aufhellen der oberen Teile großer Fahrzeuge muß das Licht zwangsläufig durch den Augenbereich der Fahrer geleitet werden

Somit erhält man für die vertikale, senkrecht zum Lichtband verlaufende Beleuchtungsstärke:

$$E_{VS} = \frac{I_{\gamma}}{C} \frac{\Phi_{\text{ges}}}{1000} \frac{\varepsilon_S}{L} \quad (11)$$

oder vereinfacht:

$$E_{VS} = \frac{I_{\gamma}}{C} \text{ const} \quad (11a)$$

d	ε_S	d	ε_S
0,4	0,175	0,7	0,352
0,5	0,231	0,8	0,397
0,6	0,287	0,9	0,448
		1,0	0,500

Tafel 2 Einige Werte ε_S für verschiedene Drückungsfaktoren d der Lichtverteilungskurve in der Ebene längs zur Leuchte

Berechnungsbeispiel für E_{VS}

Berücksichtigt man die bereits genannte Länge einer Leuchte von $L = 1,66$ m sowie den Gesamtlichtstrom $\Phi_{\text{ges}} = 3700$ lm und berechnet ε_S für den Drückungsfaktor $d = 0,41$ nach Gleichung (10) mit $\varepsilon_S = 0,185$, so erhält man aus Gleichung (11a) die vereinfachte Form für den genannten Fall:

$$E_{VS} = \frac{I_{\gamma}}{C} \cdot 0,412 \quad (12)$$

Das Ergebnis ist in Bild 6 dargestellt, wobei der Beleuchtungsstärkeverlauf für die zweiseitige Lichtbandanordnung eingetragen wurde.

Schlußfolgerung

Nach Tafel 1, die für verschiedene Fahrzeugarten die Augenhöhe des Fahrers angibt, ist es am zweckmäßigsten, die Handlaufleuchten in einer Höhe von 90 bis 95 cm anzubringen. Die Lichtquellen befinden sich dann immer unter der Augenhöhe. Damit ist man in der Lage, ohne Blenden, also mit einem vielfach höheren Leuchtenwirkungsgrad, eine völlig blendfreie Anordnung zu schaffen. Um wieviel höher die Beleuchtungsstärke wird, läßt sich aus Gleichung (3) errechnen. Ohne Blenden weist die Lichtverteilungskurve nämlich einen Drückungsfaktor von etwa 0,9 auf, wodurch sich ein um das 1,8fache größerer Wert ε ergibt. Außerdem sind infolge des ohne Blenden größeren Leuchtenwirkungsgrades etwa zweifach höhere Lichtstärken zu erwarten. Somit werden die Beleuchtungsstärken etwa 3,5mal höher sein als bei einer Anordnung mit Blenden.

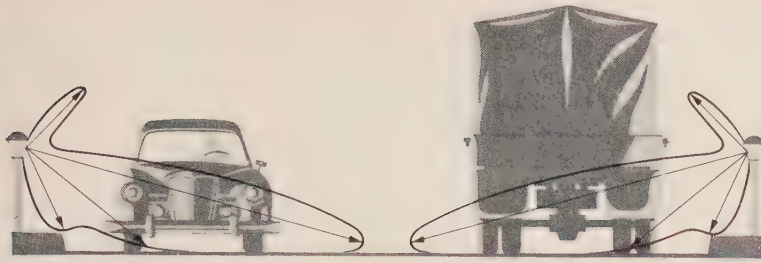


Bild 7 Wirkungsweise von Handlaufleuchten. Der Hauptlichtstrom dringt unter der Augenhöhe des Personenwagenfahrers in den Straßenraum. Der nach oben gerichtete Anteil beleuchtet hohe Fahrzeuge

Zugleich kann das Maximum der Lichtausstrahlung, da keine Blendungsgefahr besteht, so angehoben werden, daß sich eine gleichmäßigere horizontale Beleuchtungsstärkeverteilung ergibt. Mit dieser Anordnung werden allerdings die Fahrzeuge nur bis zu einer Höhe von 90 cm aufgehellt. (In den USA wurden einige derartige Anlagen gebaut.) Es ist eine Frage der Verkehrssicherheit, ob diese Aufhellung ausreicht, jedes Hindernis einwandfrei zu erkennen. Mit den eingangs beschriebenen Leuchten ist das möglich. Hier sorgt ein nach oben gerichteter Lichtstrahl (s. Bild 2) dafür, daß auch

hohe Fahrzeuge mit weit nach hinten überstehenden Lasten erkannt werden können (Bild 7). Wie Bild 6 zeigt, gelangt der Lichtstrahl leicht in den Augenbereich. Falls man bei kleineren Fahrzeugen auch das Dach aufhellen will, besonders wenn sie weit in der Fahrbahnmittle fahren, ist es zweckmäßig, lediglich den abgelenkten Spiegelbereich (das ist nur ein kleiner Teil des Gesamtspiegels, also unwesentlich für die Lichtausstrahlung nach unten) mit Querblen- den zu versehen. Diese haben die Aufgabe, dem geradeaus blickenden Fahrer die Einsicht in die Leuchten zu verwehren. Für die

obere Raumhälfte ergibt sich dann in der Lichtverteilung der Längsebenen eine elliptische Lichtverteilungskurve mit einem größeren Drückungsfaktor, je nach Abblendungswinkel. Hierfür ist mit den Gleichungen (3) und (10) ein anderer Wert ε zu berechnen als für die Verteilung in der unteren Raumhälfte.

Nach durchgeführter Berechnung ist festzustellen, ob sich in jeder Straßenebene ein ausreichender Unterschied zwischen den verschiedenen Beleuchtungsstärken ergibt, also ein genügend hoher Leuchtdichtekontrast gewährleistet ist.

Gleichstrommaschinen für kleine Leistungen

VON ERNST MASSAR UND HORST SPINGLER

Durch die vor zwei Jahrzehnten besonders stark einsetzende Entwicklung der Steuerungs- und Regelungstechnik wurde der Gleichstrommaschine ein neues und ausgedehntes Anwendungsgebiet erschlossen, nachdem sie für allgemeine Antriebsaufgaben durch den Drehstrom- und Einphasen-Wechselstrommotor praktisch schon verdrängt war. Es erwies sich sehr bald, daß die Anforderungen der Regelungstechnik, wie sie sich aus der immer weiter fortschreitenden Automatisierung, besonders der industriellen Produktionsverfahren, ergaben, mit Drehstrom- oder Wechselstrommotoren nicht oder nur mit großem Aufwand zu erfüllen waren. Diese Forderungen betreffen in erster Linie die Drehzahlverstellung, die in einem weiten Bereich schnell und stufenlos (oder mindestens sehr feinstufig) nach einem vorgegebenen Steuerungsprogramm oder in einer vom Regler zu bestimmenden Weise durchführbar sein soll. Dabei muß jede eingestellte Drehzahl im gesamten Bereich stabil bleiben.

Der Gleichstrommotor hat sich hier als ganz besonders geeignet erwiesen, so daß er heute in diesem Aufgabengebiet das Feld beherrscht und in stetig zunehmenden Stückzahlen gebraucht wird.

Die neue Entwicklung der Halbleitertechnik, die eine Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom und dessen Steuerung auch bei sehr kleinen Einheiten noch einfacher, raumsparender und zuverlässiger als bisher ermöglicht, dürfte diese Entwicklung noch beschleunigen.

Auch als Generator, besonders als Erregermaschine und als Leonardgenerator, hat die Gleichstrommaschine ein großes Anwendungsgebiet, wobei auch hier die steigenden regelungstechnischen Anforderungen eine ständige Weiterentwicklung nötig machen.

Die Anforderungen an Gleichstrommaschinen gehen heute nicht nur hinsichtlich des Drehzahlverhaltens wei-

ter als früher, sondern auch bezüglich der Wartung und der geringen Störanfälligkeit im Betrieb. Gleichstrommaschinen werden vielfach an wichtigen Stellen innerhalb automatisierter Arbeitsprozesse verwendet. Der Ausfall eines Motors zieht hier häufig Folgen nach sich, die den Fertigungsablauf stark stören und wirtschaftlich sehr unangenehm sein können. Die notwendige Sicherheit vor Störungen am Motor erfordert daher besonders gut durchdachte Fertigungs- und Prüfverfahren.

Die Wartung ist vor allem durch das Verhalten von Kommutator und Bürsten bestimmt. Die Benutzungsdauer der Gleichstrommotoren – die heute gegenüber der Betriebsweise noch vor ein bis zwei Jahrzehnten durchweg höher ist – erfordert Bürstenstandzeiten, die auch unter schwierigeren Betriebsbedingungen mit häufigen Drehzahlverstellungen, mit denen vielfach in Regelschaltungen zu rechnen ist, wenigstens 5000 bis 10000 Stunden betragen.

Um einen Austausch von Gleichstrom- gegen Drehstrommotoren oder den Zusammenbau zu Umformern zu vereinfachen, ist eine Anpassung an die Achshöhen der Drehstrommotoren erwünscht.

Der wachsenden Bedeutung kleiner Gleichstrommaschinen für schwierige Antriebsprobleme und dem steigenden Bedarf wurde bei den Siemens-Schuckertwerken durch die Entwicklung von Gleichstrommaschinen der Reihe G 2 Rechnung getragen. Hierüber ist in einem früheren Beitrag¹⁾ bereits berichtet worden. Nachstehend werden, anknüpfend an Bekanntes, noch einige bemerkenswerte Einzelheiten und Ergänzungen gebracht.

Die neuen Gleichstrommaschinen die von 0,18 kW an gebaut werden, sind sowohl durchzugbelüftet als auch in geschlossener Ausführung (Bild 1) lieferbar.

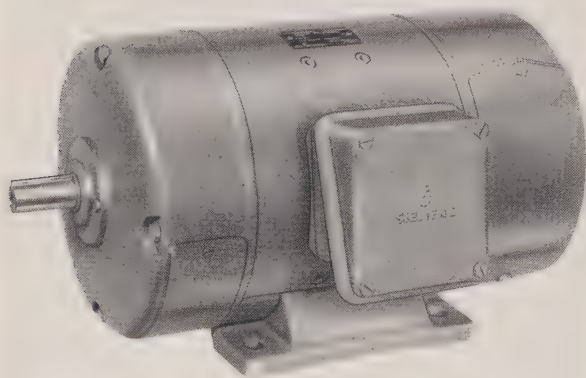


Bild 1 Gleichstrommotor 0,55 kW, 1450 U/min, Bauform B 3, Schutzart P 33

Der Hauptbedarf an kleinen Gleichstrommaschinen betrifft Motoren in Nebenschluß- und Doppelschlußschaltung. Für den Neuentwurf der Maschinenreihe waren daher vor allem die betrieblichen Anforderungen bei diesen Schaltungen in Betracht zu ziehen. Außerdem waren bedeutsame Entwicklungen, wie z. B. die Drehzahlsteuerung durch Magnetverstärker oder Halbleiter-Stromtore, zu berücksichtigen.

Allgemeine Gesichtspunkte für den Entwurf und die elektrische Auslegung

Das Bestreben, die Maschinen preisgünstig zu liefern, aber auch wichtige regelungstechnische Forderungen zu erfüllen, z. B. die nach kleinen Schwungmomenten, hat zu äußerster Beschränkung im Raumbedarf und Materialaufwand geführt. Durch Ausnutzung der isolationstechnischen Möglichkeiten, Schaffung eines guten Wärmeübergangs an kritischen Stellen, günstige Bemessung auch der inaktiven Teile und gute Belüftung und Luftführung konnten die Abmessungen und der gesamte Materialaufwand niedriggehalten werden. Die Beanspruchungen der aktiven Werkstoffe Eisen und Kupfer liegen in mäßigen Grenzen, so daß gute Wirkungsgrade auch bei Teillasten und günstige betriebliche Eigenschaften erreicht werden. So ist z. B. im Hinblick auf die Drehzahlminderung mit der Last, besonders bei Leistungen unter 1 kW, eine geringe Ankerkupferbelastung zweckmäßig. Bei kleinen Drehzahlminderungen ist der Drehzahlabsenkbereich bei Ankerspannungsänderung häufig noch ausreichend, ohne daß teure Sondermaßnahmen, wie Kompensation des Ankerspannungsabfalls durch Magnetverstärker usw., erforderlich sind. Trotz der kleinen Leistungen und der stark ins Gewicht fallenden Wirkwiderstände ist die Drehzahlminderung verhältnismäßig groß. Bei einer 2,2-kW-Maschine mit der Grunddrehzahl von 1500 U/min in Normalauslegung beträgt die Drehzahlminderung von Leerlauf bis Nennlast etwa 6%, dagegen ergeben sich bei der 0,25-kW-Maschine unter gleichen Voraussetzungen etwa 16%. Zu beachten ist dabei, daß die Drehzahlminderung von den Einflüssen des ohmschen Spannungsabfalls und der Ankerrückwirkung herrührt, wobei jedoch letztere drehzahlsteigernd wirkt. Während durch die Ankerrückwirkung beim 2,2-kW-Motor die Drehzahl auf weniger als die Hälfte des Wertes angehoben wird, der allein durch den ohmschen Spannungsabfall bedingt ist, ist dies beim 0,25-kW-Motor wegen des ganz überwiegenden Einflusses der Wirkwiderstände bedeutungslos (Bild 2). Je nach der Nennspannung und einer gegebenenfalls vorhandenen

1) Höppner, R.: Neue Gleichstrommaschinen der Reihe G 2. Siemens-Zeitschrift 35 (1961) 261 und 262

Hilfsreihenschlußwicklung können kleinere Abweichungen von den angegebenen Werten auftreten. Kleine lastabhängige Verluste, d. h. kleine Spannungsabfälle im Ankerkreis, sind bei durchzugbelüfteten Maschinen auch insofern erwünscht, als möglichst lange Einschaltzeiten bei Belastung mit Nennmoment auch noch im Bereich sehr kleiner Drehzahlen erreicht werden sollen, also dann, wenn die Belüftung praktisch aufhört. Bild 3 zeigt etwa erreichbare Werte für eine 2,2-kW-Maschine mit der Grunddrehzahl von 2800 U/min und der Isolierstoffklasse E.

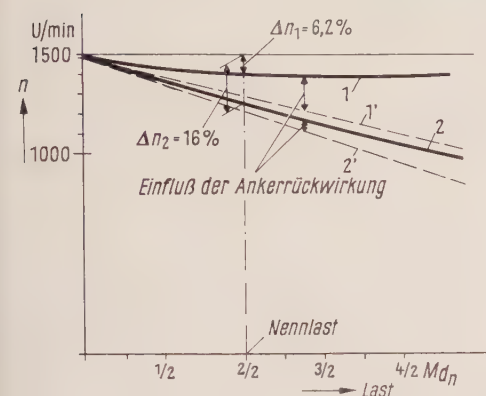
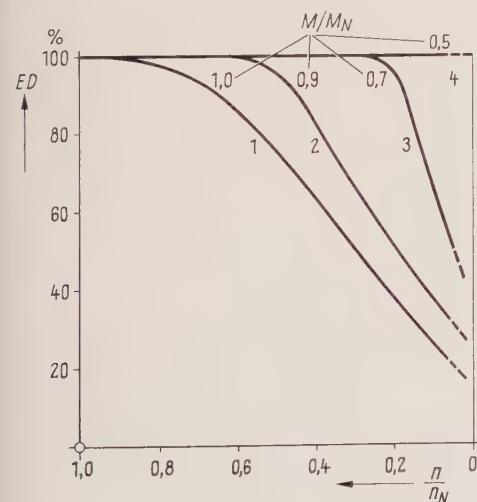


Bild 2 Drehzahl n als Funktion des Belastungsmoments M_d bei Gleichstrom-Nebenschlußmotoren 2,2 kW (1) und 0,25 kW (2). Die Linien 1' und 2' entsprechen dem Drehzahlverlauf, der sich allein durch den Einfluß der ohmschen Widerstände, ohne Ankerrückwirkung, ergeben würde



Spieldauer 10 min

Bild 3 Zulässige Einschaltdauer bei Ankerspannungssteuerung und Aussetzbetrieb für einen durchzugbelüfteten Gleichstrommotor 2,2 kW bei Normalauslegung (Kurve 1) und Grunddrehzahl 2800 U/min, Isolierstoffklasse E, Schutzart P 22. Die Kurven 2 bis 4 entsprechen Sonderauslegungen

Die Belüftung der durchzugbelüfteten Maschinen wurde sehr reichlich bemessen, um das Drehmoment auch bei stärkerer Drehzahl senkung im Dauerbetrieb möglichst wenig herabsetzen zu müssen. Eine leichte Verschlechterung des Wirkungsgrades bei Nenndrehzahl kann dafür in Kauf genommen werden. Die innengekühlten Maschinen mit Grunddrehzahlen von 2500 U/min und mehr sind bei diesen Drehzahlen überbelüftet und daher besonders für Abwärtsregelung geeignet. Während bei Maschinen mit einer Grunddrehzahl von 2900 U/min nur eine Drehmomentsenkung von 5 bis 7% bei Dauerbetrieb und Abwärtsregelung auf halbe Nenndrehzahl notwendig sind, erfordern Maschinen mit der Grunddrehzahl von 1450 U/min unter gleichen Umständen eine Drehmomentsenkung von 12 bis 14%. Im Gegensatz dazu ist bei geschlossenen Maschinen, deren Typenleistung niedriger ist, eine Drehmomentsenkung auch bei sehr kleinen Drehzahlen nicht erforderlich.

Die Eisenquerschnitte sind den Anforderungen entsprechend ausgelegt und vor allem für die magnetischen Kreise der Wendepole reichlich bemessen, damit bei allen vorkommenden Überlastungen zur einwandfreien Kommutierung Proportionalität zwischen Wendepolfluß und Ankerstrom besteht. Alle Maschinen, auch die kleinsten, sind mit Wendepolen ausgerüstet, um beste Kommutierungsbedingungen zu schaffen; diese sind im Hinblick auf den Regelungsbetrieb mit schnellen und stark wechselnden Ankerstromänderungen erforderlich. Besondere Bedeutung hat die Maßnahme ferner wegen der mehr und mehr verwendeten Steuerung über Magnetverstärker oder Halbleiter-Stromtore. Bei dieser Steuerungsart tritt schon bei dreiphasiger Schaltung auf der Wechselstromseite Lückenbildung im zeitlichen Verlauf des Ankerstromes auf. Bei den hier beschriebenen Maschinen mit kleinen Leistungen wird jedoch häufig mit zweiphasiger oder sogar einphasiger Schaltung gearbeitet. In diesem Fall ist im gesamten Drehzahlaussteuerbereich Lückenbildung beim Ankerstrom vorhanden, verbunden mit Stromspitzen, die den Wert eines entsprechenden kontinuierlichen Gleichstromes für gleiche Leistungsabgabe des Motors weit übersteigen. Ebenso ist die Kommutierung durch zugleich auftretende Spannungsspitzen erschwert. Zwar müssen in diesen Fällen – je nach Art der Speisung – die Leistungen der Maschinen aus thermischen Gründen um 20 bis 30%, bei einphasiger Speisung sogar um etwa 50% vermindert werden, jedoch sind die Beanspruchungen bezüglich der Kommutierung trotzdem so groß, daß die schon erwähnten Bürstenstandzeiten, die für eine geringe Wartung erforderlich sind, nur mit Hilfe von Wendepolen erreicht werden können. Es ist allerdings zu empfehlen, die einphasige Schaltung wegen der besonders hohen Kommutator- und Bürstenbeanspruchung auf Sonderfälle mit kleinerer Benutzungsdauer zu beschränken.

Die Wendepole sind bei allen Maschinen lamelliert, damit der Wendepolfluß den Ankerstromänderungen ohne zu

große Verzögerung durch die sonst auftretenden Wirbelströme folgen kann. Die Wendepolwicklungen sind symmetrisch zum Anker geschaltet. Damit bestehen günstige Voraussetzungen für eine einwandfreie Entstörung.

Beim Entwurf der Maschinen wurden möglichst günstige Bedingungen für die Kupplung mit Drehstrommotoren an nähernd gleicher Leistung angestrebt. Man hat daher die gleichen Achshöhen gewählt. Da bei Drehzahlen von etwa 3000 U/min die Leistungen der Gleichstrommaschinen im Generatorbetrieb gut zu den Leistungen der Drehstrommotoren passen, ergeben sich hierbei günstige Voraussetzungen für den Zusammenbau zu Umformern. Diese Drehzahl ist im hier untersuchten Leistungsgebiet ohnehin am zweckmäßigsten, weil sie zu kleinen Abmessungen und niedrigen Kosten für die Umformer führt.

Bei kleineren Drehzahlen sind die Voraussetzungen für den Zusammenbau ungünstiger, weil sich bei Gleichstrommaschinen die Leistungen etwa proportional mit der Drehzahl ändern, wogegen bei Drehstrommotoren wegen der Notwendigkeit, zugleich auch die Polzahl zu wechseln, die Leistungsänderungen viel geringer sind.

Bild 4 zeigt einen Einwellenumformer mit Durchzugbelüftung für Leonardsteuerung; diese Bauart wurde aus Gleichstrommaschinen der Reihe G 2 und aus dem aktiven Teil der Drehstrommotoren der Reihe OR 2 entwickelt.

Die Anpassung an die Achshöhen der Drehstrommotoren war möglich, ohne daß ungünstige Kompromisse bezüglich der betrieblichen Eigenschaften eingegangen werden mußten. Dabei wirkt sich der Umstand günstig aus, daß im hier vorliegenden Leistungsbereich das Verhältnis von Ankerlänge zu Ankerdurchmesser – im Gegensatz zu größeren und ganz kleinen Maschinen – nahezu ohne Einfluß auf das Schwungmoment ist, sofern es sich um normale, für Dauerbetrieb ausgelegte Maschinen handelt. Bei einer Verminderung des Durchmessers ist infolge der hierbei besonders stark zurückgehenden Ankerausnutzung eine so erhebliche Verlängerung des Läufers erforderlich, daß das Schwungmoment gleichbleibt. Die Forderung nach kleinem Schwungmoment, die aus regelungstechnischen Erwägungen gestellt wird, bedingt daher keine Beschränkungen.

Die Kommutierungsgüte wird innerhalb der in Betracht kommenden Änderungen des Durchmessers nicht merkbar verändert, da die Reaktanzspannung bei gegebener Lamellenzahl nahezu konstant bleibt. Die Maschinen sind bei der vorgesehenen Zuordnung der Leistungen zu den

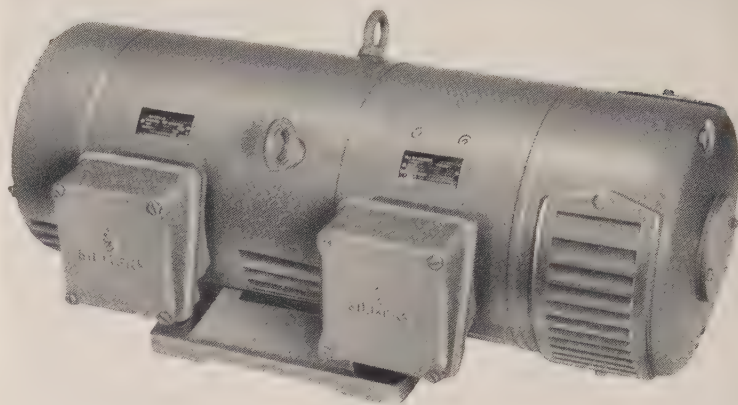


Bild 4 Drehstrom-Gleichstrom-Einwellenumformer, auf der Gleichstromseite abgegebene Leistung 2,8 kW, 2850 U/min, Bauform B 3, Schutzart P 22

Achshöhen schlanker (besonders im aktiven Teil) als ältere Ausführungen. Dadurch wird die Unstabilitätsgrenze bei Feldsteuerung durch Verringern der Ankerrückwirkung nach dem Bereich höherer Drehzahlen hin verschoben. In Verbindung mit einem großen Durchmesser des Kommutators und hoher Lamellenzahl wird die betriebliche Zuverlässigkeit der Maschinen – besonders der Ausführungen mit höherer Nennspannung und großem Feldsteuerbereich – infolge der Senkung der maximalen Segmentspannungen erhöht.

Die Maschinen werden mit Ausnahme der vier kleinsten Typen wahlweise mit Normalpolen oder Steuerpolen gebaut. Die Ausführung mit Normalpolen ist für kleineren Feldsteuerbereich vorgesehen. Sie ergibt eine etwas höhere Leistung oder besonders kleinen Erregerbedarf. Trotzdem kann dabei noch ohne eine Hilfsreihenschlußwicklung eine Drehzahlsteigerung durch Feldschwächung von 50 bis 60% bei Nennlast erreicht werden. Die Ausführungen mit Steuerpolen für erweiterten Feldsteuerbereich haben einen vergrößerten und nach den Polen zu stark erweiterten Luftspalt. Dadurch wird die Ankerrückwirkung weiter vermindert, und die Eisenverluste werden verringert. Hochlauf und Drehzahlverstellungen, die bei kleinen Maschinen – soweit es in Regelschaltungen deren Dynamik zuläßt – möglichst mit einem Vielfachen des Nennstromes vorgenommen werden, sind wegen der geringeren Ankerrückwirkung trotz des kleineren Flusses bei Nennlast ebenso rasch oder sogar rascher möglich als bei Maschinen mit Normalpolen. Eine Drehzahlsteuerung durch Feldschwächung ist hier im Bereich von 1:3 bis 1:4 ohne Hilfsreihenschlußwicklung und ohne Gefahr des Unstabilwerdens möglich, sofern die Maschine – wie meistens in der Praxis – durch ein von der Drehzahl unabhängiges Drehmoment belastet ist. Die Motorleistungen brauchen dabei im allgemei-

nen nur um ungefähr 10% gegenüber der Ausführung mit Normalpolen verringert zu werden.

Eine maximale Betriebsdrehzahl von 4500 U/min soll nicht überschritten werden. In Sonderfällen, in denen allerdings eine stärkere Leistungssenkung in Kauf genommen werden muß, können Betriebsdrehzahlen bis 6000 U/min erreicht werden. Die Maschinen erhalten im allgemeinen geschrägte Nuten zur Verminderung der Geräusche und zur Verbesserung der Laufruhe. In Verbindung mit Steuerpolen werden durch diese Maßnahmen Drehmomentpulsationen, die den einwandfreien Rundlauf bei sehr kleinen Drehzahlen beeinträchtigen können, weitgehend verhindert.

Isolation

Die Wicklungen im Läufer und Ständer sind normalerweise nach Isolierstoffklasse E entsprechend VDE 0530/3.59 ausgeführt. Bei einer zulässigen Übertemperatur von 75 °C und der hohen Qualität der verwendeten Isolierlacke ermöglicht diese Isolierung bei den kleinen Leistungen eine besonders gute Ausnutzung des Wicklungsraumes und genügt allen Anforderungen der Praxis. Aufgrund einer neuartigen Isolation der Polkerne konnte auf Spulenkästen verzichtet werden. Dadurch konnten auch die den Wärmedurchgang hemmenden Luftschichten vermieden werden, so daß außer merkbarem Raumgewinn auch die Verlustwärme der Erreger- und Wendepolwicklungen besser über das Gehäuse an die Umgebungsluft abgeführt werden kann. Dies kommt besonders den geschlossenen Maschinen zugute.

Konstruktive Gestaltung

Die durchzugbelüfteten Maschinen sind in Schutzart P 22 nach DIN 40050 ausgeführt, d.h., die Ausführung bietet Schutz vor dem Eindringen fester Fremdkörper mit mehr als 8 mm Durchmesser und vor Spritzwasser von oben bis zu einem Winkel von 30° gegen die Waagerechte. Sie können auch mit Rohranschluß auf beiden Seiten entsprechend Schutzart P 33 r geliefert werden. Bei der normalen geschlossenen Ausführung in Schutzart P 33 (s. Bild 1) sind die Öffnungen für den Luftein- und -aus-

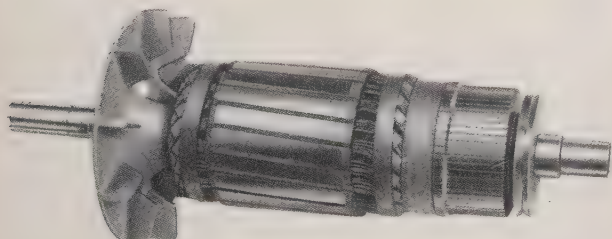


Bild 5 Anker eines Gleichstrommotors 1,5 kW,
1450 U/min, Schutzart P 22

tritt durch abnehmbare Klappen geschlossen und mit öl-festem Gummi abgedichtet. Die Ausführung bietet damit Schutz vor dem Berühren unter Spannung stehender Teile durch Werkzeuge sowie vor grobem Staub und Schwallwasser aus allen Richtungen. Nach Abnehmen der Klappen sind die Bürsten gut zugänglich.

Die Maschinen sind nach dem Bausteinprinzip aufgebaut, um mit möglichst wenig Bauelementen den verschiedenartigen Forderungen hinsichtlich der baulichen Ausführungen nachkommen zu können. Durch Austausch der A-seitigen Lagerschilde und gegebenenfalls Fortlassen der anschraubbaren Füße läßt sich die Grundform rasch in die hauptsächlichsten Bauformen umwandeln. Die B-seitigen Lagerschilde sind, einer häufigen Forderung der Regelungstechnik entsprechend, für den Anbau von Tachometermaschinen sowie für den Anbau von Bremsen, Bremswächtern oder Magnetkupplungen eingerichtet.

Maschinen für Niederspannung im Bereich von 24 bis 60 V erfordern einen längeren Kommutator und größere Bürsten. Die Maschinen erhalten dementsprechend einen längeren B-seitigen Lagerschild. Die Anker (Bild 5) sind auf das sorgfältigste dynamisch ausgewuchtet. Bei der Wicklungsausführung und Tränkung ist Vorsorge getroffen, daß Massenverlagerungen im Laufe des Betriebes, die die Auswuchtung verändern würden, vermieden werden. Die Bandagen bestehen bei allen Typen aus Glasband, das bei der Trocknung fest mit dem Tränklack verbackt, so daß keine Verschiebungen auftreten können. Dadurch ist gewährleistet, daß die Laufruhe, die für empfindliche Werkzeugmaschinen, besonders für Schleifmaschinen, gefordert wird, auch im Laufe einer langen Betriebszeit erhalten bleibt.

Für die Kommutatoren werden durchweg Konstruktionen mit Preßstoff-Fassungen und Glimmer- oder Samica-Isolation verwendet, die bei den vorkommenden Fliehkraft- und Temperaturbeanspruchungen zuverlässig sind.

Außer der Achshöhe entsprechen auch die Durchmesser der Wellenenden den in DIN 42946 für die zugehörigen Leistungen angegebenen Maßen. Der Klemmenkasten enthält normalerweise ein Klemmenbrett mit sechs Klemmen; falls diese nicht ausreichen, kann der Kasten gegen einen größeren mit neun Klemmen ausgetauscht werden. Jeder Klemmenkasten kann von 90° zu 90° gedreht und durch Schwenken des Gehäuses auch auf die andere Maschinenseite gebracht werden. Die Maschinen haben geräusch- und schwingungsarme Rillenkugellager mit Dauerschmierung, die zur Verbesserung der Laufruhe axial durch eine Feder verspannt und gegen Eindringen von Wasser und Staub besonders abgedichtet sind.

Die neuen Maschinen haben sich im bisherigen Einsatz und bei besonders scharfen Prüfungen sehr gut bewährt. Es darf demnach angenommen werden, daß sie den heutigen vielseitigen Anforderungen in besonders guter Weise gerecht werden.

Fünzig Jahre Verstärkertechnik im Hause Siemens Die Pionierzeit der Verstärkerentwicklung

VON HEINRICH NOTTEBROCK †

Im ersten Teil dieser Arbeit [1] sind, wenn auch nur kurz, die verschiedenartigen Verstärkerelemente behandelt worden, die zum Aufbau von Verstärkern – vom Fernsprechverstärker bis zum Leistungsverstärker der Großsender – verwendet werden.

Im vorliegenden zweiten Teil wird auf die Entwicklung der Verstärkerschaltungen und -konstruktionen eingegangen, und zwar auf die in der eigentlichen Pionierzeit entstandenen; die späteren Entwicklungsabschnitte dürften dem Leser noch gut in Erinnerung sein.

Verstärkergrundschialtung

Bei der Darstellung der Entwicklung der Verstärkerelemente [1] sind bereits einfache Schaltungen erwähnt worden, so diejenigen, die mit einem Brownschen Relais oder mit der Liebenröhre arbeiteten.

In der Liebenschialtung war neben einem Nachübertrager ein stark übersetzender Vorübertrager eingebaut. Für größere Verstärkungen schaltete man unter Anwendung eines Zwischenübertragers ein zweites Verstärkerelement zu. Heute ist das eine selbstverständliche Maßnahme, doch in den Jahren 1915 und 1916 waren die Übertrager noch nicht gepanzert, also weder statisch noch dynamisch geschirmt. Der Verfasser erinnert sich noch gut an die Zeit, in der man den Zwischenübertrager – ebenfalls ein Übertrager mit zwei Spulen und zylinderförmigem Drahtkern – in die neutrale Zone zwischen Vor- und Nachübertrager brachte, und zwar senkrecht zu deren Achsen.

Die Kopplung zweier Verstärkerröhren über ein RC -Glied, d. h. mit Hilfe von Widerständen und Kondensatoren, ist erst im Laufe des folgenden Jahrzehnts üblich geworden. Gleiches gilt auch für die Drossel-Kopplung und Drossel-Übertrager-Kopplung.

Die ersten Verstärker mit mehreren Röhren waren nicht sehr stabil, sie neigten zur Selbsterregung, d. h., sie »pfeiften«. Als Ursache für diese Kopplungen hatte B. POHLMANN nach Überlegungen und aus Messungen folgendes erkannt: Es ist die Erdkapazität der Heizbatterie und der zugehörigen Kathodenzuleitungen dem Eingangs- und dem Ausgangskreis gemeinsam; sie stellt also einen Rückkopplungsweg dar. Die Erdung eines Poles der Batterie (DRP 300 143) schuf Abhilfe. Als weitere Ursache der Rückkopplung wurde die allen Verstärkerröhren gemeinsame Anodenbatterie erkannt, die einen Rückkopplungswiderstand für die Anodenkreise bildete. Hier half die Überbrückung mit einem Kondensator großer Kapazität (DRP 300 621). Die dritte Quelle von Rückkopplungsstörungen bestand in der direkten kapazi-

tiven Kopplung zwischen den Anoden- und den Gitterleitungen. Eine Umkleidung der beteiligten Leitungen im Verstärker mit geerdeten metallischen Hüllen – heute allgemein als Abschirmung bekannt – machte die Kopplung unwirksam (DRP 304 307).

Diese Maßnahmen wurden 1916 erstmals im großen Umfang bei den vierstufigen Abhörverstärkern angewendet [1]. Diese Verstärker hatten eine 10000fache lineare Verstärkung (9,2 Np). Die vier A-Röhren, ein Vorübertrager, drei Zwischenübertrager und ein Nachübertrager konnten auf einem verhältnismäßig kleinen Raum untergebracht werden. Die Übertrager waren Spulen, wie bereits geschildert, jedoch mit einer starken Eisenkappe und einer verhältnismäßig dünnen Kupferkappe (jeweils zweiteilig) abgeschirmt. Dieser vierstufige Verstärker konnte, nachdem W. SCHOTTKY die Schirmgitterröhre – SS-Röhre – angegeben hatte, in einen zweistufigen umgebaut werden. Auch dieser Verstärker ist in großen

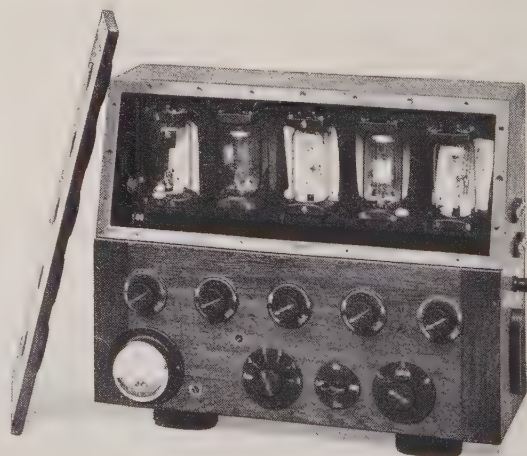


Bild 1 Entwicklungsmuster des ersten fünfstufigen Verstärkers (mit A-Röhren, 1917)

Stückzahlen gefertigt und geliefert worden. Bei der Messung des Verstärkungsfaktors dieser Zweierkaskade wurde schon sein Frequenzgang mitbestimmt.

Bereits 1917 entstand ein fünfstufiger Verstärker mit A-Röhren, der zur »Stromlinien-Telegrafie« auf See – an Land »Erd-Telegrafie« genannt – dienen sollte. Erschwerend war hierbei die Forderung nach einem extrem niedrigen Eingangswiderstand des Vorübertragers (etwa $1\ \Omega$ bei 500 Hz) und einem genügend hohen Übersetzungsverhältnis (etwa $1 : 1000$) ohne störende Eigenkapazität der Sekundärwicklung. Es gelang, mit einer weitgehenden Unterteilung der sekundären Windungen, d. h. mit Scheibenspulen, diese Forderung zu erfüllen. Sämtliche Übertrager waren stark gekapselt, und zwar entsprechend ihrer Reihenfolge in der Schaltung mit abnehmender Dicke der zweiteiligen Eisenkappen; die Wanddicke der ersten betrug 12 mm (!). Ferner traten bei großen Verstärkungen, z. B. von $1 : 120\,000$ (etwa 11,7 Np), elektrische Kopplungen zwischen den Röhren einschließlich ihrer Anschlüsse auf. Zur Entkopplung genügte der Einbau von Zwischenblechen in den verhältnismäßig kleinen eisernen und wasserdichten Schutzkasten.

Bild 1 zeigt eine Modellausführung mit einem Holzkasten, dessen Inneres mit Metallplatten ausgeschlagen war. Bei diesem Verstärker wurden, abweichend von der Viererkaskade, wo Eisenwasserstoff-Widerstände den Heizstrom konstant hielten, die Heizströme über einen Schalter und ein Meßinstrument eingestellt. Der Verstärker kam aber ebenso wie sein Nachfolger nicht mehr zum Einsatz.

Beim Messen des Verstärkungsfaktors schaltete man dem jeweiligen Verstärker so viel an Dämpfung vor, bis nach Bild 2 die Meßspannung über jeden der beiden Zweige gleiche Lautstärke im Kopfhörer (Tonfrequenz, meistens 800 Hz) ergab (Vergleichsmessung). Dämpfungsglieder waren » β l-Kisten« [2]; β bedeutete die Dämpfung einer Leitung je Kilometer, l deren Länge; β l-Einheit war bereits damals nach CCI das Neper.

Im Jahre 1919 hatte B. POHLMANN einen zehnstufigen Verstärker gebaut mit einer zehnmillionenfachen Verstärkung (16 Np), der zur akustischen Wiedergabe des Rauschens der Verstärkerröhren – des Schottkyeffektes – diente.

Alle diese Verstärker – auch die im nächsten Abschnitt zu beschreibenden Fernsprechverstärker – haben verhältnismäßig kleine Endleistungen. Die Forderung nach Leistungsverstärkern tauchte auf, als es darum ging, Lautsprecher mit entsprechend großen elektrischen Leistungen zu betreiben. Der naheliegende Gedanke, mehrere Röhren kleiner Leistung parallelzuschalten, führte zu Leistungen von einigen Watt. Das genügte aber bei weitem nicht, um z. B. die im Hause Siemens entwickelten Großlautsprecher (mehrere hundert Watt) zu betreiben. Für die Zwecke der Elektroakustik wurde z. B. die Röhre RV 24 eingesetzt, die bei einer Anodenspannung von

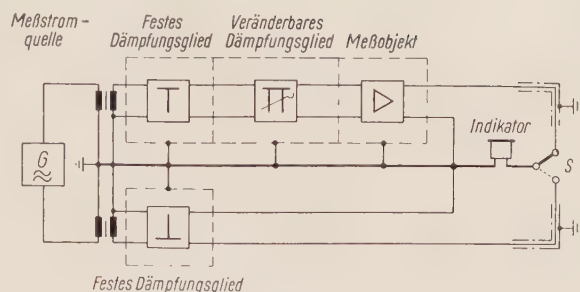


Bild 2 Messen des Verstärkungsfaktors nach dem Vergleichsverfahren

1500 V eine Leistung von 200 W abgab. Die im Jahre 1927 gebauten Verstärker (Bild 3) hatten allerdings verhältnismäßig große Abmessungen und bedurften besonderer elektrischer Umformer zur Lieferung der Heiz- und Anodenströme. Auch gebrauchte man zum Steuern der meistens im Gegentakt arbeitenden Leistungsröhren besondere Steuerverstärker und für diese wieder einen Vorverstärker, da die elektrischen Leistungen, die z. B.

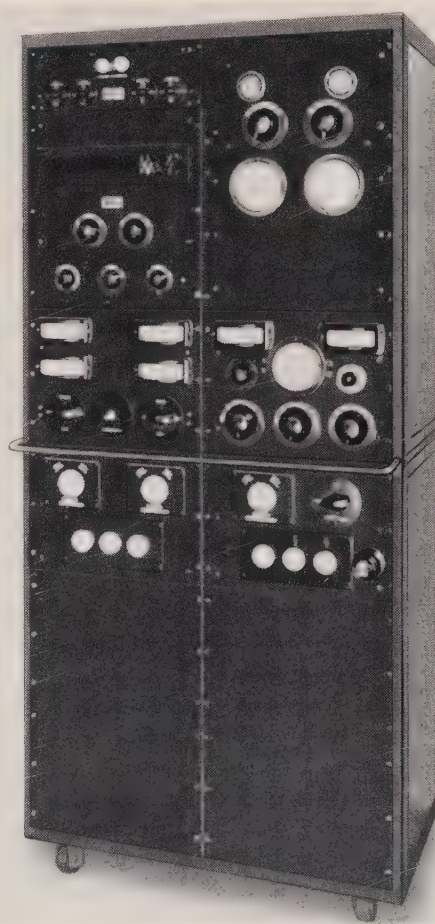


Bild 3 1927: 200-W-Verstärkerschrank für Sprach- und Musikübertragungen

Bild 6 zeigt einen Einröhren-Zwischenverstärker aus dem Jahre 1912 mit einer Liebenröhre als Verstärkerelement. Natürlich mußte es möglich sein, die dazumal üblichen Rufströme niedriger Frequenz durch die Schaltung hindurchzubringen. Die dazu erforderlichen Blockkondensatoren und die für Rufströme empfindlichen Relais sind ebenfalls auf Bild 6 zu sehen.

Zweiröhren-Fernsprechverstärker. Diese Schaltung (Bild 7) ist als Zwischenverstärker für Zweidrahtleitungen bald als eine der wichtigsten erkannt und angewendet worden und noch heute in Gebrauch. Sie wurde von SHUBART (USA-Patent 1029724) angegeben und im Laufe der Jahre vielfach verbessert. Jeder Leitung (F_1 und F_2) ist eine Leitungsnachbildung (N_1 und N_2) zugeordnet, die sorgfältig abgeglichen sein muß, um Rückkopplungen zu vermeiden.

Mit mehreren Zwischenverstärkern in derselben Leitung erhöhen sich die Nachbildungsschwierigkeiten entsprechend. Erst die Einschaltung von Tiefpässen nach einem Vorschlag von B. POHLMANN in den jeweiligen Verstärkerzweig der Schaltung erleichterte das Nachbilden wesentlich. Einfache Nachbildungsformen für die pupinierten Leitungen – denn um diese handelte es sich zu meist, nachdem das Normalkabel der Deutschen Reichspost eingeführt worden war – sind von HOYT und DEUTSCHMANN angegeben worden.

Weiterhin verbesserte Schaltungen wiesen außer den Tiefpässen auch Hochpässe auf. Ferner wurden Dämpfungsregler sowie Entzerrer eingebaut. Diese Entzerrer passen die Verstärkungskurve an die Kabeldämpfungskurve an. Die von R. FELDTKELLER angegebene Form des Entzerrers, als Längsentzerrer bezeichnet, brachte für den praktischen Betrieb wesentliche Vorteile.

Eines der ersten Geräte, die Siemens & Halske für die Deutsche Reichspost fertigte, hatte die in Bild 8 wiedergegebene Form. Als Verstärkerelemente dienten Mc-Röhren [1]. Der rechte Teil dieses kleinen Doppelschranks enthielt den eigentlichen Verstärker einschließlich der Potentiometer zum Einstellen der Verstärkung, der linke Teil die Nachbildungen usw. Diese kleinen Verstärker waren bereits umschaltbar für Zweidraht- und Vierdrahtleitungen. Zum Einstellen der Heizstromstärke der Verstärkerröhren dienten sowohl in diesem Verstärker als auch in dem Nachfolgetyp in Schubkastenform Eisenwasserstoff-Widerstände. Diese Verstärkerbauart arbeitete mit

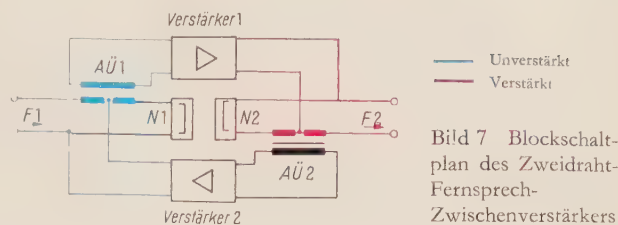


Bild 7 Blockschaltplan des Zweidraht-Fernsprech-Zwischenverstärkers

BF-Röhren [1]. Sie ist als Einzelverstärker fest in die Leitungen eingebaut, aber auch als Schnurverstärker bei Fernsprech-Vermittlungsschränken, d. h. wahlweise einschaltbar, betrieben worden.

Mit dem Zweidraht-Zwischenverstärker konnten immerhin je nach Stärke der Freileitungen bis 1500 km überbrückt werden, bei pupinisierten Kabeln je nach Art der vorliegenden Ader bis 500 km.

Vierdraht-Fernsprechverstärker. Für größere Entfernungen mußte man wegen der Nachbildungsschwierigkeiten Vierdrahtleitungen verwenden. Es ist jedoch aus betriebswirtschaftlichen Gründen nicht angängig, diese bis zum Fernsprechteilnehmer zu führen. Man wendet die von OHNESORGE vorgeschlagene Schaltung an (Bild 9). Diese unterscheidet sich von der von VAN KESTEREN angegebenen dadurch, daß sie an ihren Enden in je eine Gabel mündet, die aus einem Ausgleichübertrager und einer Nachbildung der angeschlossenen Zweidrahtleitung besteht. Es wurde also die Schaltung des Zweidrahtverstärkers so geändert, daß jeweils mehr als ein Verstärker im Zuge der Leitungswege $F_1 \rightarrow F_2$ und $F_2 \rightarrow F_1$ liegt.

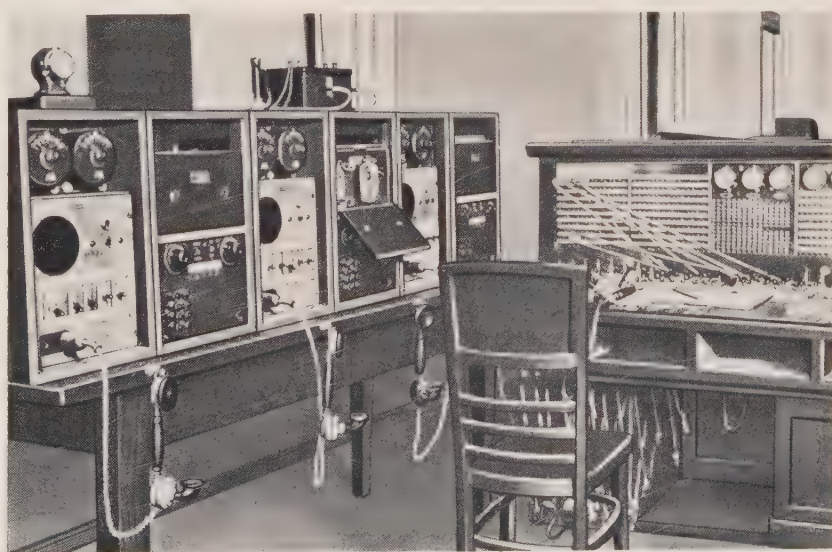


Bild 8 1916: Vermittlungsamt mit drei Fernsprechverstärker-Doppelschränken

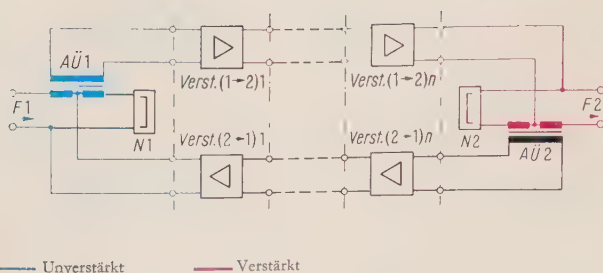


Bild 9 Blockschaltplan des Vierdraht-Fernsprech-Zwischenverstärkers

B. POHLMANN hatte mit Hilfe der von ihm entwickelten Verstärker im Jahre 1917 die erste Vierdrahtverbindung hergestellt mit 3-mm-Freileitungen zwischen Bad Kreuznach und Bukarest, und zwar war bereits bei diesem Verstärker mit Erfolg versucht worden, die Verstärkungskurven möglichst gut den Dämpfungskurven der Leitungen anzupassen (DRP 457794).

Nach Verlegung der Normalkabel und dem Einbau der ihnen zugeordneten Verstärker war es in den Jahren 1928/1929 möglich gewesen, in enger Zusammenarbeit mit der Deutschen Reichspost auf der Strecke Hannover-Wiedenbrück durch vielfache Hintereinanderschaltung der einzelnen Verstärkerfelder eine Verbindung von 3500 km Länge herzustellen. Die leicht pupinisierte Kabelleitung hatte insgesamt eine Dämpfung von etwa 125 Np; die Verstärkungsziffer aller im Leitungszug liegenden Verstärker betrug dementsprechend 123 Np.

Zu dieser Grundform der Vierdraht-Verstärkerschaltungen mußten aber bei langen Weitverkehrsleitungen zusätzlich Mittel angewendet werden, die die störenden Echowirkungen und Laufzeitverzerrungen vermeiden. Diese Mittel waren inzwischen in der Echosperrung und in der Laufzeitkette oder leichten Pupinisierung der Kabel gefunden worden. Bei den denkwürdigen Versuchen auf der Strecke Hannover-Wiedenbrück fiel die wichtige Entscheidung, in Zukunft die deutschen Fernkabel leicht zu pupinisieren. Bei dieser Gelegenheit wurden auch versuchsweise alle in den beiden Verstärkerämtern erfaßbaren Verstärkerfelder zu einer Leitung von 10000 km zusammengeschaltet, was der Entfernung von London nach Tokio entspricht. Trotz der langen Laufzeit wurde die Sprache ohne merkbare Verzerrung übertragen, wovon sich die zur selben Zeit im Verstärkeramt Wiedenbrück tagende CCI-Kommission überzeugen konnte.

Natürlich waren diese Verstärker, wie später alle fest eingebauten Vierdrahtverstärker, mit einstellbaren Verstärkungsreglern und mit Fächerentzerrern ausgerüstet.

Echosperrungen. Auf diese bei Fernleitungen mit verhältnismäßig kleiner Übertragungsgeschwindigkeit, also großer Laufzeit, benötigte Schaltung zur Echounterdrückung ist schon mehrfach hingewiesen worden. Sie arbeitet so, daß beim Sprachfluß auf der einen Leitung des Vierdrahtweges die Gegenleitung gesperrt ist.

Die Echosperrung hat ihren Vorläufer in einem Richtverstärker, den B. POHLMANN schon um das Jahr 1917 in einer Schaltung verwendete, bei der die Verstärker für die jeweilige Sprechrichtung mit Hilfe der Sprechströme selbst eingeschaltet wurden (DRP 317835). Ihre allgemeine Anwendung unterblieb jedoch, da diese Richtungsschaltung weitgehend geräuschfreie Leitungen voraussetzt. Selbst bei den damals vom Reichspost-Zentralamt zur Verfügung gestellten besten Freileitungen war die Geräuschfreiheit zu gering. Immerhin hat das von B. POHLMANN angewandte Prinzip der Gitterpotentialverlagerung (DRP 348076) bei der Schaltung der Echosperrungen weitgehende Anwendung gefunden. Die 1928 von H. F. MAYER angegebene Schaltung hatte bereits die Form, die gut in den damals gezogenen Rahmen hineinpaßte [4].

Konstruktiver Aufbau der Verstärker

Zwei Verstärker sind – als Beispiele – bereits kurz behandelt worden (vgl. Bilder 1 und 3). Auch auf den kleinen Verstärkerschrank (Bild 8) ist schon hingewiesen worden. Doch können – konstruktiv gesehen – diese Verstärker nur als Vorläufer der später in großem Umfang in Fernsprech-Verstärkerämtern angewendeten Bauformen für Gestelle betrachtet werden.

Der erste Fernsprechverstärker für Gestelleinbau gehört der Verstärkerbauweise 1922 an (Bild 10). Diese hat

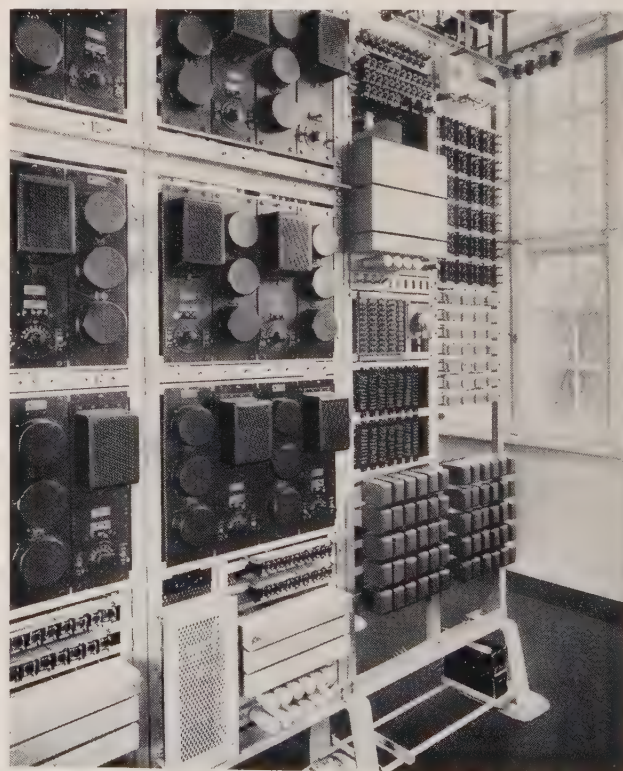


Bild 10 Fernsprech-Verstärkeramt der Bauweise 1922

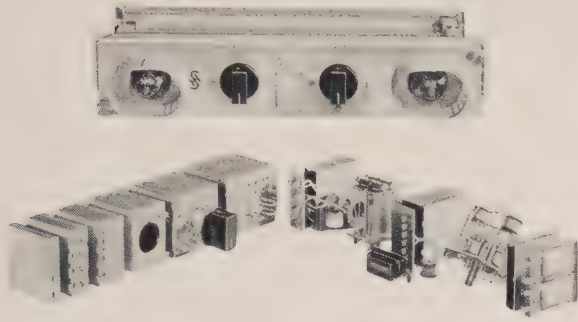


Bild 11 Fernsprechverstärker der Baukasten-Bauweise 1932

bereits in den Verstärkerämtern Malmö und Stralsund Anwendung gefunden. Je sechs solcher Platten waren mit den zugehörigen zweigliedrigen Spulenleitungen in einem Gestell vereinigt. Bei diesen Verstärkern war jeweils ein zweiter Röhrensatz mit zugeordnetem Eisenwasserstoff-Widerstand als Reserve vorgesehen, der sich bei Ausfall des Betriebssatzes selbsttätig einschaltete.

Die Fernsprech-Zwischenverstärker der Bauweise 1925 waren wieder mit nur einem Röhrensatz bestückt. Jedes Gestell nahm zehn Verstärker auf.

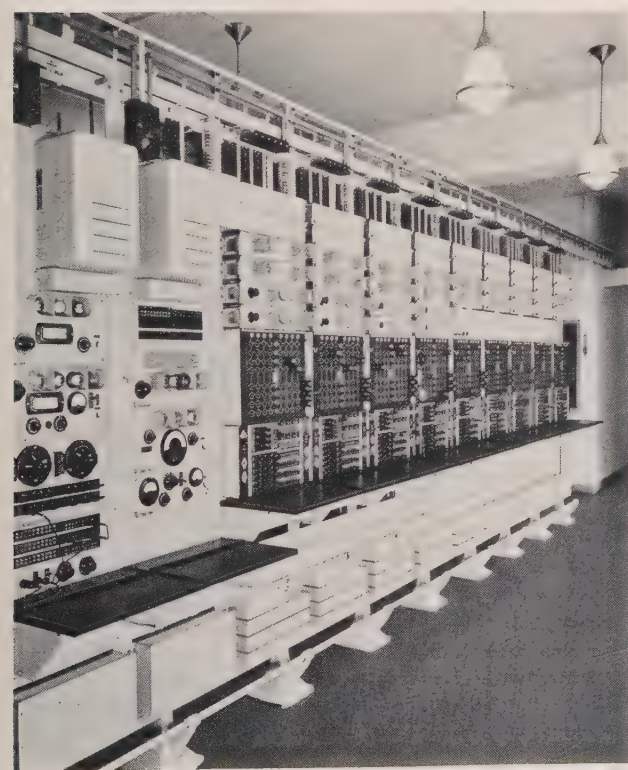


Bild 12 Rundfunkleistungs-Verstärkerarm der Bauweise 1934

Die Verstärkerbauweise 1927 unterschied sich von den beiden vorgenannten dadurch, daß nach einem Vorschlag von R. FELDTEKLER und dem Verfasser zwischen dem eigentlichen Verstärkersatz und dem Entzerrersatz unterschieden wurde [5]. Der Verstärkersatz war sowohl im Zweidraht- als auch im Vierdrahtverstärker einsetzbar. Zudem bot diese Bauweise – zur CCIF- und -CCIT-Tagung in Berlin vorgeführt – den Vorteil, daß sich die Echoentzerrer und die Geräte, die zur Unterlagerungs-Telegrafie (UT) gebraucht wurden, in den Verstärkerämtern leicht mit dem Verstärker vereinigen ließen.

Die Konstruktion 1927 kann als Vorläufer der Bausteinbauweise (Bild 11) angesehen werden, die W. RABANUS und H. HOFFMANN mit der Verstärkerarmbauweise 1932 vorschlugen und die wegen ihrer fertigungs- und betriebstechnischen Vorzüge nahezu 20 Jahre nicht nur den Aufbau der Fernsprech- und Rundfunkleistungs-Verstärker (Bild 12), sondern auch den der Trägerfrequenzgeräte bestimmte [6].

Für die Geräteausführungen der letzten Jahre war weitgehend die Bauweise 1952 bestimmend. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Baugruppen, Verstärker, Filter, Entzerrer, Modulatoren usw. – zu Geräten zusammengeführt –, die in Schrankgestelle mit Laufschienen eingeschoben und mechanisch verriegelt werden [7, 8].

In den letzten Jahrzehnten stieg der Bedarf an Sprechkreisen in allen Teilen der Fernsprechnetze sprunghaft an, eine Entwicklung, die auch heute noch unvermindert anhält. Die Fertigung immer kleinerer Bauteile und auch raumsparende Gestellkonstruktionen waren dadurch zwingend geworden. Die Entwicklung fand ihren Ausdruck in neuen, abgewandelten Bauweisen, die mit den Bezeichnungen Baugruppenbauweise, d. h. der Zusammenfassung von Schaltungsteilen immer wiederkehrender Einheiten, und gedruckte Schaltung ausreichend umrissen ist. Der Nachrichteningenieur der sechziger Jahre steht mitten in dieser Entwicklung, wobei er für seine Fernziele vermutlich auch die Mikromodultechnik heranziehen wird.

Schrifttum

- [1] Nottebrock, H.: Fünfzig Jahre Verstärkertechnik im Hause Siemens. Die Verstärkerelemente. Siemens-Zeitschrift 35 (1961) 63 bis 68
- [2] Engelhardt, A.: Die Schaltung von Fernsprech-Verstärkerämtern mit fest eingebauten Zwischenverstärkern. Dissertation TH Berlin, 25. 5. 1922, R. Oldenbourg, München
- [3] Bartels, H.: Grundlagen der Verstärkertechnik. 3. Auflage (Monographien der Elektrischen Nachrichtentechnik), Verlag S. Hirzel, Leipzig 1949
- [4] Mayer, H. F. und Nottebrock, H.: Echosperrern für Fernverbindungen. TFT 15 (1926) 333
- [5] Feldtkeller, R. und Nottebrock, H.: Neue Zwischenverstärker für Fernkabel. Siemens-Jahrbuch 1929, VDI-Verlag GmbH, Berlin NW 7
- [6] Rabanus, W.: Neue Formen im Aufbau von Fernsprechverstärkern (Baukastenform). TFT 21 (1932) 188 bis 191
Hoffmann, H.: Neuzeitliche Fernsprechverstärker. Veröffentlichungen aus dem Gebiet der Nachrichtentechnik 1937, 4. Folge, und 1938, 1. Folge
- [7] Schniedermann, J.: Neue Gerätebauformen und Bauteile der Weitverkehrs-Nachrichtentechnik. Jahrbuch Elektr. Fernmeldewesen 1952
- [8] Brusch, J. und Weber, H.: Amtsbautechnik in Nachrichten-Weitverkehrsämtern. Siemens-Zeitschrift 34 (1960) 366 bis 372

AUS DER GESCHICHTE DES HAUSES SIEMENS

Werner Siemens und das Telefon

Einige Gedanken anlässlich des hundertsten Jahrestages der ersten öffentlichen Vorführung eines Telefons durch Philipp Reis

VON WALTER BRILL

WERNER SIEMENS am 6. November 1877 an seinen Bruder Carl in London:

»Werde wohl nächstens ein Telephonpatent beantragen. Wir sind mitten in den Versuchen... Am besten geht noch immer das alte Berliner Weihnachtsmarkttelefon – zwei Waldteufel mit den Strippen zusammengebunden. Das wird seit vielen Jahren in den Weihnachtsbuden verkauft. Wir Esel haben zwar das Wunder des deutlichen Verstehens auf 60 Fuß und mehr Entfernung angestaunt, aber die Sache nicht verfolgt, auch dann nicht, als Reis es elektrisch zu machen versuchte!«

In seinem Vortrag »Über Telephonie«, den WERNER SIEMENS vor der Berliner Akademie der Wissenschaften am 21. Januar 1878 gehalten hat [1], sind Überlegungen zu akustischen Problemen der elektrischen Sprachübertragung und zur Gestaltung akustischer Wandler dargelegt worden, die es verdienen, vom Standpunkt unseres heutigen Wissens aus gewürdigt zu werden.

PHILIPP REIS hatte 1861 durch Versuche gezeigt, daß es grundsätzlich möglich ist, die Sprache elektrisch zu übertragen. Er verwendete ein Mikrofon mit Platinkontakt und ein freistrahles Wiedergabegerät nach dem magnetostriktiven Prinzip. 16 Jahre später gab der Amerikaner ALEXANDER GRAHAM BELL ein magnetoelektrisches Telefonsystem an, mit dem sich eine Fernsprechverbindung erstmals in praktisch brauchbarer Form verwirklichen ließ [2].

Das Telefonsystem von Bell besteht aus einem langen Stabmagnet, der an einem Ende eine Wicklung trägt und mit diesem Pol auf eine Eisenmembran einwirkt. Die Metallteile sind in einem gedrehten Holzkörper eingesetzt (Bild 1). In der zweiten Patentschrift wird auch eine Zeichnung mit einem Magnet in Hufeisenform aufgeführt. Zwei derartige Telefone bilden den Übertragungskreis. Sie werden an jeder Sprechstelle abwechselnd als Mikrofon oder Telefon benutzt. Die Lautstärke der Übertragung ist recht gering.

Eine Messung akustischer Größen – der Lautstärke, des Schalldrucks, der Schallschnelle – war mit den damaligen Mitteln der

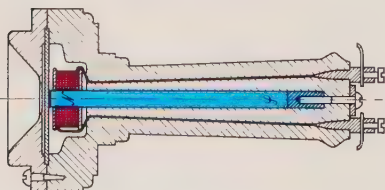


Bild 1 Magnetoelektrisches Telefon nach A.G. Bell, aus einem Stabmagnet mit Spule und eingespannter Eisenmembran. Schnittzeichnung nach einem im Siemens-Museum befindlichen Muster

Akustik noch nicht möglich. Die Rayleighsche Scheibe, mit der man die Schallschnelle messen kann, wurde erst drei Jahre später bekannt. Um einen Anhalt dafür zu gewinnen, welchen Bruchteil an Schallenergie die Telefonverbindung von der Mikrofon- auf die Telefonseite überträgt, ersann Werner Siemens einen interessanten Versuch. Er stellte eine große Spieldose, deren Frequenzumfang etwa dem der menschlichen Sprache nahegekommen sein dürfte, im Freien auf und maß die Entfernung, in der man die Spieldose gerade eben noch hörte; es waren 125 m. Dann wurde die Spieldose über zwei Bell-Telefone abgehört, und es ergab sich, daß der Schall nicht wahrgenommen wurde, sobald das aufnehmende Mikrophonsystem mehr als 1,20 m von ihr entfernt war. Werner Siemens schloß hieraus, daß die elektroakustische Verbindung die gleiche Dämpfung wie die entsprechende Luftstrecke haben müßte, d. h. nur den Bruchteil $(1,2 : 125)^2 \sim 1 : 10000$ der Schallintensität oder $1 : 100$ des Schalldrucks, der am Mikrofon herrschte, übertragen hat (kugelförmige Schallausbreitung $J = J_0 : r^2$ vorausgesetzt).

Neuere Messungen an Bell-Telefonen aus dem Siemens-Museum in München ergaben für die Übertragungsdämpfung des Schalldrucks den Wert 6 bis 7 Np oder etwa $1 : 600$ [3]. Der abschätzende Versuch hat Werner Siemens also eine recht gute Vorstellung von den Übertragungsverhältnissen vermittelt. Diese Art, die Sprache elektrisch zu übertragen, war in der Tat noch sehr unvollkommen und verbesserungsbedürftig.

Eine weitere Überlegung stellte Werner Siemens zum Abschätzen des Empfindlichkeitsbereichs des Ohres an. Er schreibt hierzu: »Daß wir die Sprache des durch so ungemein schwache Ströme erregten Telefons verstehen, verdanken wir nur der außerordentlichen Empfindlichkeit und dem großen Umfange unseres Hörorgans, welche dasselbe befähigen, den Schall des Kanonenschusses, den es noch in 5 m Entfernung erträgt, in einer Entfernung von 50 km noch zu hören, also Luftschwingungen noch innerhalb der hundertmillionenfachen Stärke als Schall zu empfinden« [1].

Wir wissen heute, daß der gesamte Schallintensitätsbereich, den das Ohr verarbeiten kann, von der Hörschwelle bis zur Schmerzgrenze $1 : 10^{12}$ beträgt. Nun ist aber beim Abhören im Freien der örtliche Störpegel zu beachten. Wenn dieser mit 40 dB in Rechnung gesetzt wird, so kommt man auf ein Verhältnis von $1 : 10^8$. Werner Siemens hat also den Empfindlichkeitsbereich des Ohres durchaus richtig abgeschätzt.

Die geringe Lautstärke des Bellschen Telefons ließ keinen großen Abstand der Sprechstellen zu. Überdies durfte der Übertragungsweg nicht durch elektrische Geräuschspannungen benachbarter Telegrafleitungen gestört werden, wie man beobachtet hatte. Werner Siemens versuchte deshalb, den Wirkungsgrad des Bellschen Systems zu erhöhen. Die Verbesserungen betrafen neben der Ermittlung eines günstigen Membrandurchmessers in erster Linie den magnetischen Kreis. Nun war damals ein rechnerisches Erfassen magnetischer Vorgänge nicht möglich, da die Begriffe Remanenz und Koerzitivkraft von Weicheisen und Magnetstahl noch nicht bekannt, geschweige denn, deren Werte gemessen waren. Die Magnetisierungskurven von Eisen wurden erst im Jahre 1886 von HOPKINSON ermittelt [4]. Übrigens konnte man auch erst von dieser Zeit an die Dimensionierung von Dynamomaschinen vorausberechnen. Die Verbesserungen am Telefonsystem, auch die Erfindung der

Dynamomaschine (1866), hat Werner Siemens mehr oder weniger intuitiv erarbeitet. Er ließ sich von dem Gedanken leiten, daß eine gute Schließung des magnetischen Kreises die magnetische Feldstärke im Arbeitsluftspalt erhöhen muß – ein Gesichtspunkt, der ihn schon 1856 bei magnetelektrischen Maschinen auf eine besonders günstige Ankerform führte, den »Doppel-T-Anker«.

Den Verbesserungen am Telefonsystem liegen folgende, auch heute noch gültige Gedanken zugrunde [5]: Der Magnet hat Hufeisenform, weil sich dabei die Kraftlinien leichter zu einem Kreis schließen lassen als bei einem gestreckten Stabmagnet. Beide Pole stehen vor der Membran aus Eisenblech und sind mit Polschuhen aus Weicheisen versehen, die die Wicklungen tragen. Die Polschuhe sind so weit zusammengedrückt, wie es die Ausdehnungen der Spulen zulassen, so daß der Weg des Magnet- wie auch des Spulenwechselstroms über die Membran so kurz wie möglich wird. Die Patentschrift zeigt auch eine Ausführungsform, bei der die Polschuhe vor der Membran noch zusätzlich nach innen abgewinkelt sind, wodurch der Weg über die Membran weiter verkürzt wird. Der Abstand zwischen Membran und Polschuhfläche kann mit einem Schraubtrieb reguliert und auf den günstigsten Wert eingestellt werden (Bild 2).

Die Nachprüfung solcher Telefone aus dem Siemens-Museum mit neuzeitlichen Meßgeräten ergibt gegenüber den Bell-Telefonen – als Mikrofon gemessen – einen Spannungsanstieg auf etwa das Dreifache [3].

Im weiteren Verlauf seiner Experimente versuchte Werner Siemens, die Lautstärke durch Verstärken der Permanentmagneten weiter zu erhöhen. Er bemerkte aber, daß man hier zu einer Grenze kam und deren Überschreiten »die Sprachlaute undeutlich macht und ihnen einen fremden, unangenehmen Nebenklang gibt«. Die einseitige Durchbiegung der Membran wurde zu groß, und wahrscheinlich kam man in den Bereich der magnetischen Sättigung des Membranblechs, wodurch nichtlineare Verzerrungen der übertragenen Sprache entstehen. Der einseitigen Durchbiegung der Membran suchte Werner Siemens durch Anbringen eines zweiten Magnet-systems zu begegnen, das auf der Gegenseite mit gleicher, aber ent-

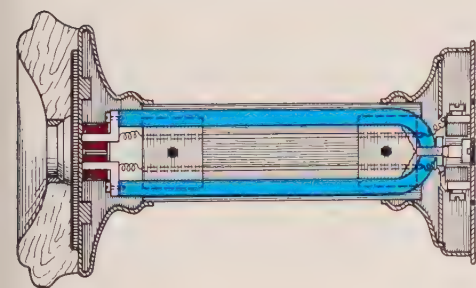


Bild 2 Magnetelektrisches Telefon nach Werner Siemens aus einem Hufeisenmagnet, Weicheisenpolschuhen als Spulenträger und eingespannter Eisenmembran. Schnittzeichnung nach einem im Siemens-Museum befindlichen Muster

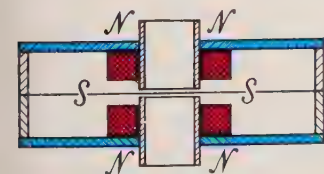


Bild 3 Magnetelektrisches Telefonsystem mit magnetischer Gleichgewichtslage der Eisenmembran. Zeichnung aus dem S & H-Patent 2355 vom 14.12.1877

gegengesetzt wirkender Kraft angeordnet war. Nach mehreren Zwischenlösungen kam schließlich das in Bild 3 gezeigte System zustande [6]. Die mit *NN* bezeichneten runden Scheiben sind Magnete mit radialer Magnetisierung. Der Nordpol liegt innen, der Südpol am Außenrand. Als Polschuh ist ein kurzes Rohrstück aus weichem Eisen eingesetzt, das die Spule trägt und zugleich den Ein- oder Austritt des Schalls ermöglicht. Die Rohre haben einen Längsschlitz, um die Wirkung als energieverzehrende Kurzschlußwindung zu vermeiden, die ein ringsum geschlossenes Rohr sonst haben würde. Die beiden Rohrpolschuhe üben – gleichstarke Magnetisierung der Scheibenmagnete vorausgesetzt – entgegengesetzte, aber gleichgroße Zugkräfte auf die Membran aus, die Membran verharrt in ihrer natürlichen Ruhelage. Die Wicklungen sind so gepolt, daß bei Stromfluß (als Wiedergabegerät betrachtet) die Magnetisierung des einen Pols verstärkt, die des anderen gleichzeitig geschwächt wird. Auf die Membran wirkt eine Differenzkraft, durch die sie in Richtung auf den stärker magnetisierten Pol zu bewegt wird. Die Membran schwingt also hin und her, sobald sie durch Wechselstrom erregt wird.

Umgekehrt wird eine Wechselspannung in den Spulen induziert, sobald die Membran durch die Schall-schwingungen der Sprache in Bewegung gerät.

In der Sammlung des Siemens-Museums befindet sich ein äußerlich gleiches Exemplar dieses Telefonsystems, bei dem jedoch die Magnetisierung der beiden Scheibenmagnete entgegengesetzt ist. Die Membran liegt in der neutralen Zone der jetzt wie in einer Reihenschaltung wirkenden Magnete. Sie führt daher keinen magnetischen Dauerfluß, im Gegensatz zu der vorher beschriebenen Magnetisierung der Scheibenmagnete, bei der die Membran als Schließungsstück der Magnetkreise flußführend ist. Auch bei der zweiten Magnetisierungsart wirken durch Stromfluß in den entsprechend gepolten Spulen Differenzkräfte auf die Membran.

Der Werkstoff für die damaligen Dauermagnete war einfacher gehärteter Stahl mit geringem magnetischem Energieinhalt. Um eine hohe magnetische Induktion im Arbeitsluftspalt zu erzielen, muß die Länge eines Magneten aus solchem Werkstoff wesentlich größer als sein Querschnitt sein, wie das z. B. bei der Hufeisenform* der Fall ist. Die Scheibenmagnete sind in dieser Hinsicht sehr ungünstig. Zudem wurden sie sicherlich außerhalb des Systems in einer Hilfseinrichtung magnetisiert, wo sie – wie heute von solchen Werkstoffen bekannt ist – beim Herausnehmen aus dem Magnetisierungskreis durch die dann eintretende Scherung wieder einen großen Teil der Magnetisierung verloren. Die magnetische Induktion im Differentialsystem war daher sicher niedrig. Es darf deshalb mit Recht bezweifelt werden, daß Werner Siemens auf diesem Wege zu einem lautstarken Telefon gekommen wäre. Mit neuzeitlichen Magnetwerkstoffen läßt sich dagegen die Idee des Differentialmikrofons erfolgreich verwirklichen. Es genügt, die in Bild 3 erkennbaren Abstände zwischen Scheibenmagnet und Membran als Magneten auszubilden**.

In der im Zusammenhang mit Bild 3 zitierten Patentschrift Nr. 2355 [6] ist noch ein weiteres Telefonsystem aufgeführt, das nach einem

* An alten magnetelektrischen Maschinen mit großen Hufeisenmagneten aus dem Siemens-Museum wurde kürzlich die Luftspaltinduktion nachgemessen; sie beträgt nur etwa 1000 G; mit neuzeitlichen Magnetwerkstoffen erreicht man heute den zehn- bis fünfzehnfachen Wert, z. B. im dynamischen Permanentmagnet-Lautsprecher.

** Das Prinzip des Differentialsystems wurde erst Jahrzehnte später von der Firma Autelco (USA) wieder aufgegriffen. In Deutschland hat Siemens & Halske zu Beginn des letzten Krieges ähnliche Systeme entwickelt; neben der Aufteilung des Magnetkreises in einen für den Permanent- und einen für den Wechselfluß war die magnetische Membran, der Anker, über eine Stange mit einer besonderen akustischen Membran gekoppelt. Mit solchen Systemen ist nunmehr der Aufbau einer lautstarken batterielosen Fernsprechanlage möglich geworden [7]. W. Ströhm und der Verfasser haben ein System entwickelt, das im Prinzip dem von Werner Siemens gleicht (Ringmagnetsystem) und die Grundlage für eine nach 1950 von der Deutschen Bundespost verwendete Hörkapsel bildete [8].

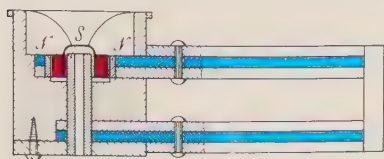


Bild 4 Dynamisches Telefon mit Permanentmagnet. Zeichnung aus dem S & H-Patent 2355 vom 14. 12. 1877

völlig anderen Prinzip arbeitet: ein dynamisches Telefon (Bild 4). Das dynamische Prinzip, eine Tauchspule im ringförmigen Luftspalt eines Permanent- oder Elektromagneten, hat Werner Siemens schon einige Jahre vorher bei der Konstruktion eines gepolten Relais angewandt [9]. Hier wird von der Tauchspule, der »Drahtrolle«, ein Umschaltkontakt betätigt. Für die Kombination der

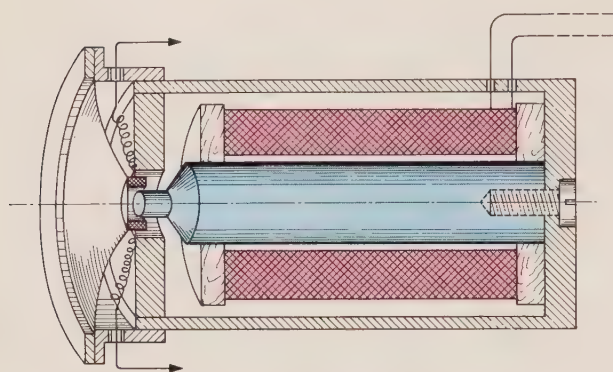


Bild 5 Dynamisches Telefon mit Elektromagnet und einer Schwingspule mit Pergamenthaut-Membran

Tauchspule mit einer Membran suchte Werner Siemens nach einer geeigneten Membranform. Er schreibt hierzu: »Da man eine ebene Membran nicht über eine ziemlich enge Grenze hinaus vergrößern kann, ohne die übertragenen Sprachlaute zu verwirren, so habe ich auf Helmholtz' Rat der Membran die Form des Trommelfelles des Ohres gegeben.«

Die Membran hatte allerdings nicht die Gestalt eines geraden Kegels, ihre Seitenfläche war vielmehr gewölbt; das ergab sich durch die Herstellungsmethode: die angefeuchtete und eingespannte Haut verzog sich nämlich durch den auf die Mitte ausgeübten Druck. Diese Membranform ist geometrisch nicht in eine Ebene abwickelbar. Sie wurde später »wiedererfunden« und ist jedem Techniker, der sich mit Lautsprechern beschäftigt, unter dem Namen »Nawi-Membran« bekannt.

Die Membran eines großen Modells erhielt einen Durchmesser von etwa 20 cm und wurde aus Pergamenthaut hergestellt. Die Schwingspule tauchte in den Spalt eines großen Elektromagneten (21 kg) in Topfform (Bild 5). Werner Siemens hat somit als erster die Schwingspule, d. h. das elektrodynamische Prinzip, in die Elektroakustik eingeführt. Das große Modell steht im Siemens-Museum.

Schrifttum

- [1] Siemens, W.: Wissenschaftliche und technische Arbeiten. Bd. 2, 353, Berlin 1891
- [2] Bell, A. G.: USA-Patent 174 465 vom 14. 2. 1876 (Elektromagnet) und USA-Patent 186 787 vom 15. 1. 1877 (Permanentmagnet)
- [3] Dehn, G. und Langsdorff, W.: 100 Jahre Telefon. Frequenz 15 (1961) Heft 10
- [4] Hopkinson, J. und E.: Dynamo-Electric Machinery. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 177 (1886) 331 bis 358
- [5] Siemens, W.: Deutsches Patent 3396 vom 8. 5. 1878
- [6] Siemens, W.: Deutsches Patent 2355 vom 14. 12. 1877 und Englisches Patent 4685 vom 10. 12. 1877
- [7] Brünner, O. und Hofmann, H.: Ein magnetisches Mikrophon- und Telefonsystem für batterieelose Fernsprechanlagen. Elektrotechn. Z. A 73 (1952) 550 bis 553
- [8] Gosewinkel, M. und Koschel, H.: Der Ringmagnethörer, ein lautstarkes Telefon mit breitem Frequenzband. Fernmeldetechn. Z. 6 (1953) 80 bis 85
- [9] Siemens, W.: Englisches Patent 1919 vom 25. 6. 1872, beschrieben in [1]

TECHNISCHE BERICHTE

Automat SSB zum Kurzschlußschutz für Beleuchtungsanlagen unter Tage

VON RUDOLF DÖRFLER

Beim Kurzschlußschutz elektrischer Anlagen unter Tage treten besondere Probleme insofern auf, als einerseits die Kurzschlußströme infolge langer Zuleitungen verhältnismäßig klein sind, andererseits jedoch aus Sicherheitsgründen eine möglichst schnelle Abschaltung von Kurzschlüssen erforderlich ist.

Nach der Verfügung der Oberbergämter Dortmund und Bonn vom 30. April 1957 und entsprechend der Vorschrift VDE 0118/8.60 muß in schlagwettergefährdeten Betrieben unter Tage der kleinste zweipolige Kurzschlußstrom nach 0,1 s abgeschaltet werden. Um diese

Forderung trotz der auftretenden niedrigen Kurzschlußströme erfüllen zu können, wurden »Bergbausicherungen« [1] entwickelt. Diese Sicherungen entsprechen der Vorschrift VDE 0635 und schalten den siebenfachen Nennstrom in 0,1 s ab. Es zeigte sich, daß diese Bergbausicherungen den Anforderungen in 500-V-Netzen genügen; beim Kurzschlußschutz von Beleuchtungsanlagen mit Glühlampen mußten aber Zugeständnisse entweder bezüglich der nutzbaren Leiterlänge oder des Leiterquerschnittes gemacht werden.

Beim Einschalten von Lampenstromkreisen tritt ein Stromstoß auf, der das Vielfache des Nennstromes der Lampen beträgt [2]. Die Ursache dieses Stromes ist der kleine ohmsche Widerstand der kalten Lampen, der nur einen Bruchteil des Widerstandes der warmen Lampen ausmacht. Da sich die Glühfäden der Lampen sehr schnell erwärmen, tritt dieser Stromstoß nur während der ersten

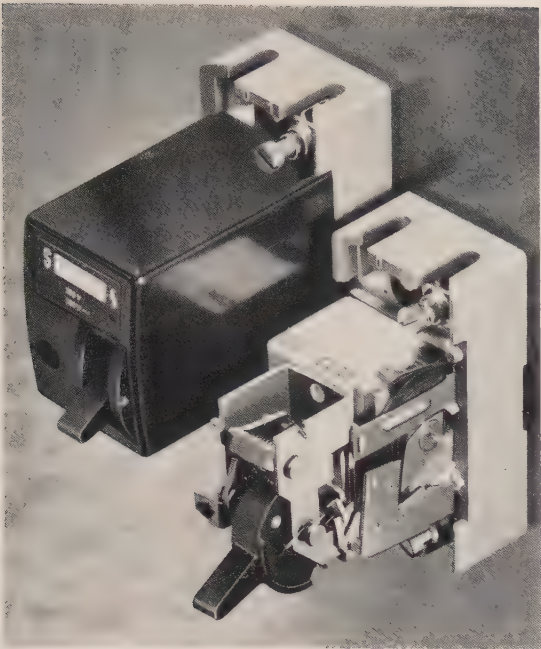


Bild 1 Automat SSB zum Kurzschlußschutz für Beleuchtungsanlagen unter Tage

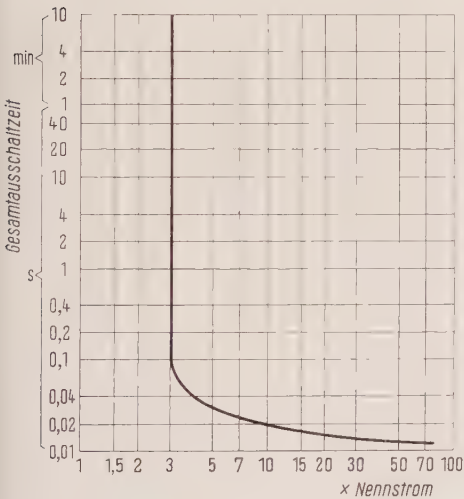


Bild 2 Strom-Zeit-Kennlinie des Automaten SSB bei Belastung mit Wechselstrom (50 Hz)

Halbwellen auf. Das genügt aber, um eine zu knapp ausgelegte Sicherung zum Durchschmelzen zu bringen. Erfahrungsgemäß muß daher der Nennstrom eines Schmelzeinsatzes erheblich größer gewählt werden, als es dem Nennstrom der Lampen entspricht. Das bedeutet aber, daß bei Berücksichtigung der erwähnten Vorschriften auch der Kurzschlußstrom der Beleuchtungsleitung entsprechend größer werden muß. Die Folge ist entweder eine Verminderung der Leitungslänge oder eine Vergrößerung des Leiterquerschnittes. Auch die Verwendung handelsüblicher Haushalt-Leitungsschutzschalter bringt keine wesentliche Verbesserung. Wegen des Einschaltstromstoßes können solche Schutzschalter nur mit etwa dem halben Nennstrom betrieben werden, weil sie schon bei kleinen Kurzschlußströmen sehr schnell auslösen.

Bei dem neuentwickelten Automat SSB (Bild 1) wurde durch Aufbringen einer zusätzlichen Masse auf den Kurzschlußanker die Schnellauslösung geringfügig verzögert. Der während der ersten Halbwellen auftretende Einschaltstromstoß kann daher nicht zum Auslösen führen. Trotzdem schaltet der Automat bereits beim dreifachen Nennstrom innerhalb von 0,1 s ab (Bild 2).

Auf das bei normalen Automaten vorhandene Bimetall wurde verzichtet, weil nach den bestehenden Vorschriften für Beleuchtungsstromkreise unter Tage kein Überlastschutz erforderlich ist.

Schrifttum

[1] Rauch, W. und Wenzel, E.: Schmelzeinsätze für den Schutz elektrischer Anlagen im Bergbau unter Tage. Siemens-Zeitschrift 32 (1958) 528 bis 532
[2] Dörfler, R.: Der Kurzschlußschutz in Beleuchtungsanlagen unter Tage. Glückauf (1961) 893 bis 895

Fernsteuerung von Eisenbahnstrecken in Südafrika

VON ERHARD SCHOEPPER

Der bedeutende wirtschaftliche Aufschwung der Südafrikanischen Republik nach 1945 führte u. a. auch dazu, daß wesentlich erhöhte Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der meistens eingleisigen Bahnen gestellt wurden. Die Südafrikanische Eisenbahnverwaltung (S.A.R.) hatte zur Lösung ihrer Verkehrsprobleme zwei Möglichkeiten in Betracht gezogen: Verlegung eines zweiten Streckengleises oder Einbau neuzeitlicher Relaisstellwerke mit Lichtsignalen und Fernsteuerung. Wegen der weit geringeren Kosten und kürzeren Bauzeiten entschieden sich die S.A.R. für die Anwendung der Fernsteuerung; sie übertrugen die Projektierung und Lieferung der ersten großen Strecke Kamfersdam-Postmasburg dem Wernerwerk für Telegrafien- und Signaltechnik von Siemens & Halske. Ein weiterer Auftrag über eine Fernsteueranlage für eine 140 km lange Strecke wurde ebenfalls Siemens & Halske erteilt.

Die von Kimberley in westlicher Richtung verlaufende Strecke ist etwa 220 km lang und umfaßt 22 Bahnhöfe, zwei Blockstellen und drei Ausweichstellen, die von der Zentrale in Kimberley gesteuert und überwacht werden. Zur Fernübertragung der verschiedenen Kommandos, z. B. für das Umstellen einer Weiche oder die Anschließung einer Fahrstraße oder eines Signals, wurde das Induktivwahl-Kodesystem angewendet, das sich infolge seiner Wirtschaftlichkeit und günstigen Übertragungsgeschwindigkeit im In- und Ausland bereits vielfach bewährt hat. Zur Übertragung der kodierten Fernsteuerimpulse zu den einzelnen Bahnhöfen dient ein paarig verseiltes PROTODUR*-Kabel, das als Leichtbau-Luftkabel ausgebildet ist und mit besonderen Armaturen an den längs der Strecke stehenden Stahlrohrmasten für Fernspregleitungen aufgehängt wurde. Wegen der besonderen örtlichen Verhältnisse zwischen der Zentrale in Kimberley und dem ersten Bahnhof der Strecke, Kamfersdam, ist dort ein bewehrtes PROTODUR-Kabel in die Erde verlegt worden.

In der Zentrale sind der Bedienungsraum, ein Relais- und Schalt- raum sowie die Räume für die Stromversorgung untergebracht. Im Bedienungsraum der Zentrale befindet sich eine in U-Form ausgebildete Streckenstelltafel. Auf dieser Tafel ist das Gleis- bild der Strecke und der Bahnhöfe mit allen für die Bedienung erforderlichen Tasten und Meldelampen dargestellt. Aufgrund der Meldungen, die über die Fernsteuerung in der Zentrale eingehen, disponiert der Fahrdienstleiter und gibt entsprechende Komman- dos an die Signaleinrichtungen der Strecke. Hierzu betätigt er eine Tastenkombination, z. B. Start- und Zieltaste oder Einzel- und Gruppentaste. Dadurch werden die einzelnen Kommandos auf die Fernsteuereinrichtung übertragen und von dort an die ge-

* Eingetragenes Warenzeichen



Übersicht über die geographische Lage der Strecke Kimberley-Postmasburg

wünschte Station gesendet. Durch den zusätzlichen Einbau einer Zugnummernmeldeanlage und eines Belegblattdruckers stehen dem Betriebspersonal noch weitere Hilfsmittel für die zentrale Zugüberwachung und Zuglenkung zur Verfügung.

Im Relaisraum, der gegen das Eindringen von Staub unter erhöhtem Luftdruck gehalten wird, sind sämtliche Relaisgestelle und der Zwischenverteiler untergebracht. Alle hier verwendeten Relaisgruppen haben steckbare Anschlüsse, um ein schnelles Auswechseln der Gruppen zu ermöglichen.

Zur Stromversorgung der Zentrale ist eine 60-V-Batterie vorhanden, die vom Ortsnetz über einen magnetisch geregelten Gleichrichter gepuffert wird. Über eine besondere Schalttafel im Schalt- und den Stromverteilerstellen im Relaisraum werden die einzelnen Verbraucher mit Gleich- oder Wechselspannung versorgt. Bei Netzausfall schaltet sich ein Umformer automatisch an die Batterie an und liefert die für den Betrieb nötige Wechselspannung. Zur Überbrückung eines längeren Netzausfalles ist in einem besonderen Gebäude ein Diesellager bereitgestellt. Dieses Aggregat kann bei Bedarf durch Betätigen der Dieseltaste von der Streckenstelltafel aus gestartet werden. Durch optische und akustische Meldeeinrichtungen steht die Stromversorgung der Zentrale sowie diejenige sämtlicher Bahnhöfe der Strecke unter dauernder Kontrolle.

Alle Bahnhöfe der Strecke sind mit Lichtsignalen und elektrischen Weichenantrieben ausgestattet. Sämtliche Signale sind zur Entlastung der Stromversorgung in Grundstellung dunkel und werden erst durch den sich nähernden Zug über einen Schienenkontakt oder ein Gleiskreis angeschaltet.

Die Weichenantriebe sind nicht auffahrbar und mit Innenverschluß versehen. Sie können mit einer Kurbel, deren unbefugte Entnahme aus einer getrennt angebrachten Verschlußeinrichtung verhindert wird, auch von Hand umgestellt werden. Das Überwachen der Weichenendlage übernimmt ein Dreilagen-Motorrelais. Dieses Relais wird über Kontakte im Antrieb und noch zusätzlich über besondere Zungenkontakte gesteuert. Die für das Motorrelais erforderliche Wechselspannung (50 Hz) wird von einem Transistorgenerator erzeugt, der die Gleichspannung der Stellwerksbatterie umwandelt. Transistorgenerator und Batterie sind im Stellwerk untergebracht. Die in Fahrstraßen liegenden von Hand zu stellenden Weichen sind durch Riegelschlösser gesichert. Der dazugehörige Schlüssel ist in einer elektrischen Schlüsselsperre untergebracht und kann von der Zentrale durch ein besonderes Fernsteuerkommando freigegeben werden.

Zum Überwachen der Bahnhofsbereiche wurden 12-V-Gleisstromkreise eingebaut; die Streckengleise sind mit Achszählkreisen ausgerüstet. Alle elektrischen Einrichtungen der Außenanlage sind über bewehrte PROTODUR-Erdkabel mit den Stellwerken verbunden.

Die Stellwerksgebäude haben einen Relais- und einen Batterieraum. Alle Relaisgestelle sind in staubdichte Relaisschränke eingebaut. Die Relais sind in steckbaren Relaisgruppen zusammengefaßt, so daß ein schnelles Auswechseln der Gruppen bei Störungen möglich ist. Soweit die einzelnen Bahnhöfe keinen Netzan-schluß haben, ist die Stromversorgung durch entsprechende Diesellageraggregate sichergestellt. Diese Aggregate sind in der Nähe der Stellwerke in einem besonderen Gebäude untergebracht. Je nach Ladezustand der Batterie werden die Diesellageraggregate automatisch an- oder abgeschaltet. Bei einer Störung der Diesellautomatik ist die Anschaltung der Aggregate von der Zentrale aus durch ein besonderes Fernsteuerkommando möglich.

Seit der Inbetriebnahme der gesamten Strecke (im Juli 1961) verkehren etwa 50 Züge je Tag. Die Streckenleistung kann jedoch mit der hier beschriebenen Fernsteuerungs-Einrichtung noch erheblich gesteigert werden.

Die TELEPERM-Regelanlage eines Versuchsofens für Gas- und Ölbrenner

VON OTTO KRACKE

Bei einem Wärmofen, der zur Entwicklung und Erprobung von Brennern dient, wurde eine Temperatur- und Gemisch-Regelanlage nach dem TELEPERM*-System eingebaut (Bild 1). Der Ofen wird normalerweise ohne Einsatzgut betrieben, da vor allem Untersuchungen über die Flammenebildung und die Regelbarkeit der Brenner durchgeführt werden sollen. Die Anlage dient nicht nur der Forschung, sondern auch Vorführzwecken. Sie soll hierbei die Leistungsfähigkeit der Brenner sowie auch die Leistungsfähigkeit der Regelung nachweisen.

Regelaufgabe

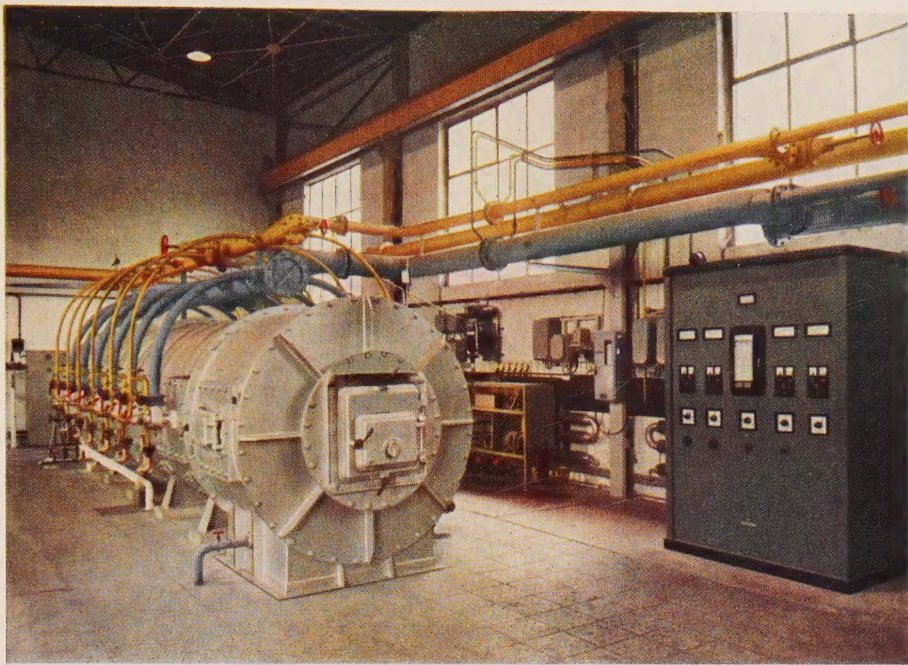
Bei einer derartigen Erprobungsanlage kommt es in gleichem Maße auf genaue Meß- und Regelergebnisse wie auch auf eine vielfältige Einstellmöglichkeit der Regelung bei gleichzeitig größter Regelstabilität an. Bei der Projektierung des Ofens lagen die ersten günstigen Versuchsergebnisse mit dem TELEPERM-Regelsystem vor. Man entschloß sich daher, auch hier den TELEPERM-Regler einzusetzen. Es ist dies ein elektrischer PI-Regler mit Vorhaltwirkung, dessen Arbeitsweise durch stetiges Messen und impulsweises Stellen gekennzeichnet ist.

Die Regler des Versuchsofens sollen jedem Brenner eine vorgegebene, meßbare Brennstoffmenge zuführen. Als Brennstoff stehen Ferngas mit 4300 kcal/Nm³ sowie Leichtöl, mittelschweres Heizöl und Bunkeröl C, das auf 60 bis 80 °C oder 120 °C vorgewärmt ist, zur Verfügung.

Der Stirnbrenner des Ofens kann mit Gas, mit Öl oder auch mit einem beliebigen Gemisch dieser beiden Brennstoffarten betrieben werden. Außerdem stehen zwölf Seitenbrenner für Gasfeuerung zur Verfügung. Sechs dieser Brenner können auf Ölführung umgeschaltet werden. Sie sollen dann zwangsläufig mit untereinander gleicher Ölmenge versorgt werden. Die Regelung muß auf die gewünschte Betriebsweise des Ofens abgestimmt sein. So muß für

* Eingetragenes Warenzeichen

Bild 1 Versuchsofen der »OFU«-Ofenbau-Union GmbH., Düsseldorf, mit Gas- und Öl-Heizung. Seitlich die Meßwarte und die offenstehende Öldosiereinrichtung



die Untersuchung des Stirnbrenners ein beliebiges Gemisch von Gas und Öl einstellbar und regelbar sein. Diese Forderung wird mit der gewählten Meßschaltung in vollkommener Weise erreicht; die Anteile von Gas und Öl können wahlweise bis zur Grenze der genauen Meßbarkeit heruntersetzt werden. Der Regelbereich des Mischungsverhältnisses läßt sich über fast zwei Zehnerpotenzen verändern.

Für die Durchflußregelung ist eine Öldosiereinrichtung (Bild 2) eingesetzt worden, die besonders für Meß- und Regelaufgaben entwickelt wurde. Die Dosiereinrichtung enthält eine mehrzylindrige Dosierpumpe. Sie ermöglicht es, die Gesamtölmenge mit einer Toleranz von $\pm 1,5\%$ zu messen. Außerdem wird mit der Öldosiereinrichtung die Gesamtölmenge zwangsläufig gleichmäßig auf die einzelnen Brenner verteilt. Nimmt der Brennerwiderstand zu, so

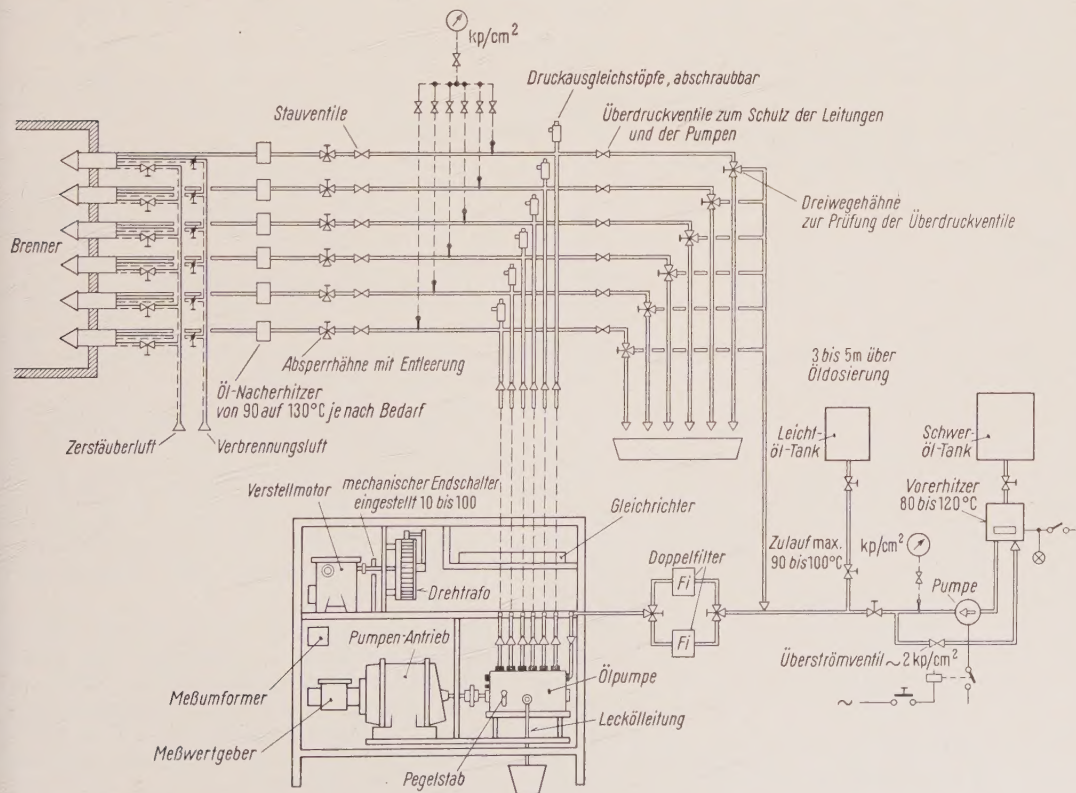


Bild 2 Schema der Öldosiereinrichtung für sechs Brenner

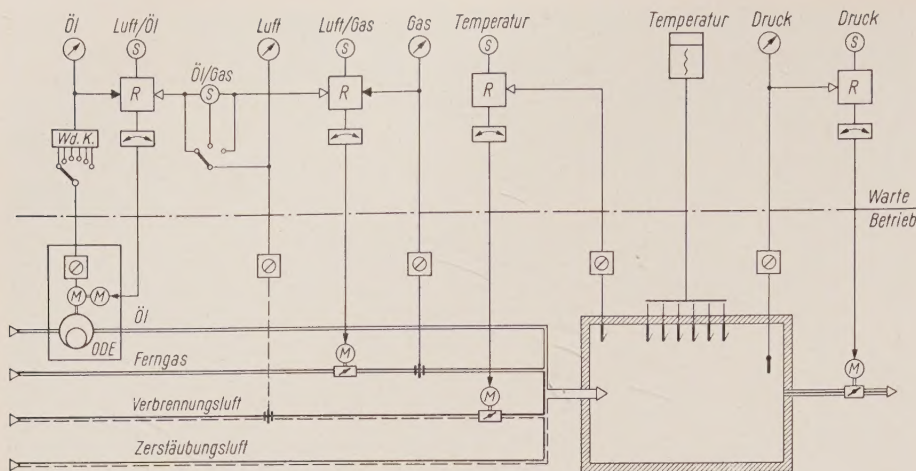


Bild 3 Wirkschema der Regelanlage

steigt der Öldruck bis etwa 10 kp/cm² an; er wirkt dadurch bei leichten Verstopfungen selbstreinigend.

Die Öldosiereinrichtung ist als Baustein des TELEPERM-Systems aufgebaut. Sie läßt sich über Schaltschütze mit Impulsen beliebiger Dauer steuern. Ihr Meßwertgeber gibt proportional der zugeteilten Ölmenge einen eingepprägten Gleichstrom von 0 bis 50 mA ab. Der Regelbereich erstreckt sich von 100% bis zu 10% des Meßbereiches hinab. Schaltet man einzelne Brenner ab, so können noch geringere Ölmen gen geregelt werden. In diesem Fall paßt eine Zusatzschaltung (elektrisches Netzwerk) den Ausgangsstrom der Öldosiereinrichtung der Anzahl der abgeschalteten Brenner an.

Die verschiedenen Regelkreise

Der Aufbau der Ofenregelung ist aus Bild 3 ersichtlich:

Temperatur. Die Ofentemperatur wird mit einem PtRh-Pt-Thermoelement gemessen. Ein Temperaturmeßumformer gibt den Meßwert auf den Temperaturregler. Der zugehörige Sollwertsteller ist ebenso wie der Meßumformer für den Temperaturbereich 20 bis 1460 °C geeicht. Der Temperaturregler stellt mit einem TELEPERM-Antrieb die Regelklappe in der Luftleitung. Mit sechs Thermoelementen, die am Ofen beliebig eingesetzt werden können, läßt sich

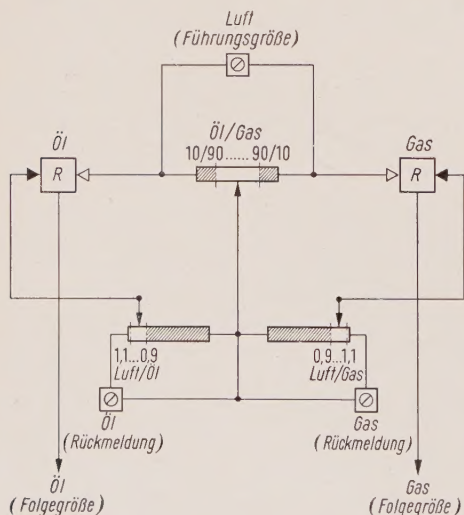


Bild 4 Grundschriftplan für die Gemischregelung

das gesamte Temperaturfeld des Ofens überwachen. Die Temperaturen werden von einem Sechsfarbschreiber in der Meßwarte registriert.

Gas-Öl-Gemisch. Für die beiden Brennstoffe Gas und Öl ist jeweils ein Regler eingesetzt. Als Führungsgröße dient der vom Temperaturregler vorgegebene Luftdurchfluß (Bild 4). Ein Sollwertsteller mit der Skale: »0 bis 100 Gas« und »100 bis 0 Öl« teilt den gemessenen Luftdurchfluß auf die beiden Brennstoffregler auf, die die Brennstoffzufuhr im gewünschten Verhältnis nachregeln. Mit einem zusätzlichen Wahlschalter kann man, je nach gewählter Betriebsart, den einen oder anderen Brennstoffregler ganz abschalten (s. Bild 3).

Brennstoff-Luft-Verhältnis. Jedem Brennstoffregler ist ein eigener Steller für das Brennstoff-Luft-Verhältnis zugeordnet. Durch die Schaltung bedingt, liegen diese Sollwertsteller im Leitungszweig der geregelten Größe. Damit bei der Verstellung des Sollwertes die Anpassung des Reglers nicht verändert wird, ist der Verstellbereich mit $\pm 10\%$ verhältnismäßig eng begrenzt (s. Bild 4).

Ofendruck. Eine gleichmäßige, gute Flammenführung läßt sich nur bei einer einwandfrei arbeitenden Ofendruckregelung erreichen. Der Vorführöfen ist daher auch mit einem TELEPERM-Regler für den Ofendruck ausgerüstet. Da der Ofen nur einige Schaulöcher, aber keine Einsatztüren hat und daher auch kaum Falschluf einziehen kann, arbeitet die Ofendruckregelung sehr schnell und sicher.

Versuchsanordnungen und -möglichkeiten der Regelung

Folgende Versuche können an dem Ofen durchgeführt werden:

1. Stirnbrenner mit Gasfeuerung. Regelung der Brennstoffmenge und des Brennstoff-Luft-Verhältnisses. Beobachtung des Flammenbildes durch Schaulöcher.
2. Stirnbrenner mit Ölfuehrung. Regelung der Brennstoffmenge mit der Öldosiereinrichtung. Durch Abschalten einzelner Förderzylinder der Pumpe ist es möglich, die Regelbarkeit des Brenners von 1 : 40 voll auszufahren.
3. Stirnbrenner in kombinierter Betriebsweise. Ein beliebig einstellbares Gas-Öl-Gemisch wird bei jedem Brennstoffdurchfluß eingehalten. Ein besonderer Vorteil der Regelschaltung besteht darin, daß bei einer Änderung des Mischungsverhältnisses keine Korrektur des Luftfaktors erforderlich ist.
4. Zwölf Seitenbrenner mit Gasfeuerung und kurzer Flamme als Flächenbrenner. Die Regelung kann hierbei mit dem Wahlschalter so umgeschaltet werden, daß der Temperaturregler auf die Gasklappe wirkt und die Luftklappe ständig voll aufgefah ren ist. Dabei ist es möglich, bei großem Luftüberschuß sehr niedrige Temperaturen bei gleichmäßiger Ofenatmosphäre ohne örtliche Überhitzung, d. h. ohne Flammen im Ofen, während einer längeren Zeit genau zu regeln.
5. Sechs Seitenbrenner mit Ölfuehrung. Jedem Zylinder der Öldosiereinrichtung ist ein Brenner zugeordnet, was eine gleichmäßige Brennstoffzuteilung ergibt. Mit Hilfe der Brennerabschaltvorrichtung ist es möglich, beliebig viele Brenner abzuschalten, ohne daß die Regelung darunter leidet. Im äußersten Fall kann der Ofen mit einem einzigen Seitenbrenner betrieben werden.

- Öffentliche Feuermeldestellen
- Private Feuermeldestellen
- Unterwache Karlsruhe West
- Hauptwache Stadtmitte

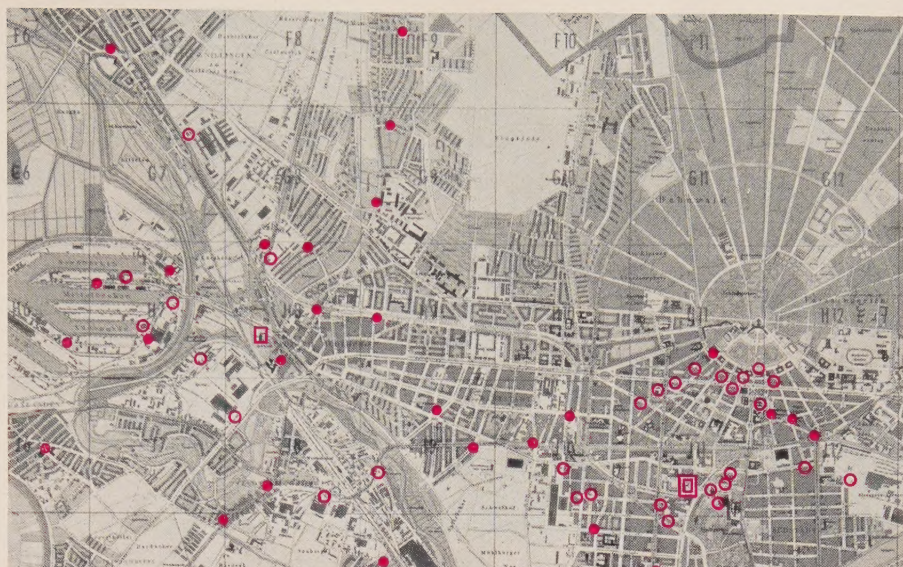


Bild 1 Stadtplan von Karlsruhe mit der Hauptwache Stadtmitte, der Unterwache Karlsruhe West sowie öffentlichen und privaten Feuermeldestellen

Neue Feuermeldeanlage für die Stadt Karlsruhe

VON HANS SCHUMMER

Obwohl Notrufmeldungen in zahlreichen Fällen über Fernsprecher weitergeleitet werden, so sind dennoch öffentliche Feuermeldeanlagen lebensnotwendige Einrichtungen zum Schutz von Städten und Gemeinden. Die Bedeutung solcher Anlagen wächst mit zunehmender Industrialisierung. Einzelbetriebe legen z. B. großen Wert darauf, daß Feuermeldungen auch nachts, wenn nur wenige Personen im Betrieb anwesend sind, rasch und sicher – insbesondere von selbsttätigen Feuermeldern – der Feuerwehr übermittelt werden können.

In der neugebauten Feuerwache West der Stadt Karlsruhe wurde kürzlich eine neuzeitliche Feuermeldeanlage in Betrieb genommen (s. Farbbild gegenüber S. 683). Diese ermöglicht im jetzigen Ausbau den Anschluß von insgesamt 120 öffentlichen Feuermeldern und anderen besonderen Meldestellen, von denen aus z. B. selbsttätig Feuermeldungen von einzelnen Industriebetrieben und öffentlichen oder privaten Bauten übertragen werden können (Bild 1).

Die bei der Feuerwache West eingehenden Feuermeldungen werden gleichzeitig mit Hilfe einer ebenfalls neuen Übertragungsanlage zur Hauptfeuerwache der Stadt Karlsruhe übermittelt. Mehrere andere Unterwachen können in ähnlicher Weise an die Hauptwache angeschlossen werden.

Die neue Anlage in Karlsruhe ist nach dem Siemens-Einheits-Feuermeldesystem gebaut. Dabei wurden selbstverständlich alle einschlägigen Sicherheitsbestimmungen berücksichtigt, die u. a. auch den VDE-Richtlinien zur Sicherung von Leben und Sachwerten entsprechen. Dies gilt sowohl für die eigentlichen Feuermeldeanlagen als auch für die Übertragungsanlage zwischen der Unterwache und der Hauptwache. Bild 2 zeigt die Grundschialtung einer solchen Anlage. Innerhalb der Stadt sind die an öffentlichen Plätzen oder in Industriebetrieben aufgestellten Feuermelder über ein besonderes Leitungsnetz mit den Feuerwachen verbunden. Dabei sind jeweils mehrere Melder über je eine Ringleitung (Schleife) an eine Unterwache oder an die Hauptwache angeschlossen. Bei der Unterwache Karlsruhe West sind z. B. vier derartige Schleifen in Betrieb.

Alle Unterwachen sind über vieradrige Übertragungsleitungen mit der Hauptwache verbunden.

Für den Empfang von Feuermeldungen sind sämtliche für die Anzeige und die Bedienung erforderlichen Elemente übersichtlich in einem Bedienungstisch (Bild 3) zusammengefaßt. Die eingehende Feuermeldung wird nicht nur optisch und akustisch angezeigt, sondern auch mit Hilfe eines für alle Schleifen gemeinsamen Typendruckers nach Meldernummer (als Standortanzeige des Meldenden), Kalendertag, Stunde und Minute registriert. Auch etwaige Störungen werden in ähnlicher Weise angezeigt und registriert.

Wenn ein Feuermelder betätigt wird, leuchtet am Bedienungstisch zunächst eine der betreffenden Schleife zugeordnete weiße Lampe auf, die »Schleifenlampe«. Kurz danach leuchtet eine rote Lampe auf, die besagt, daß eine Feuermeldung vorliegt. Zur Ortskennzeichnung leuchtet schließlich eine Lampe mit Meldernummer über einer besonderen Melderkarte auf. Gleichzeitig wird die Meldung von einem Typendruker registriert. Die Melderkarte enthält außer der genauen Ortsanzeige der Meldestelle auch andere notwendige Hinweise für die Feuerwehr, z. B. Eintragungen des Anfahrtsweges, Belastungswerte von Brücken, Umfahrwege usw.; sie wird zu-

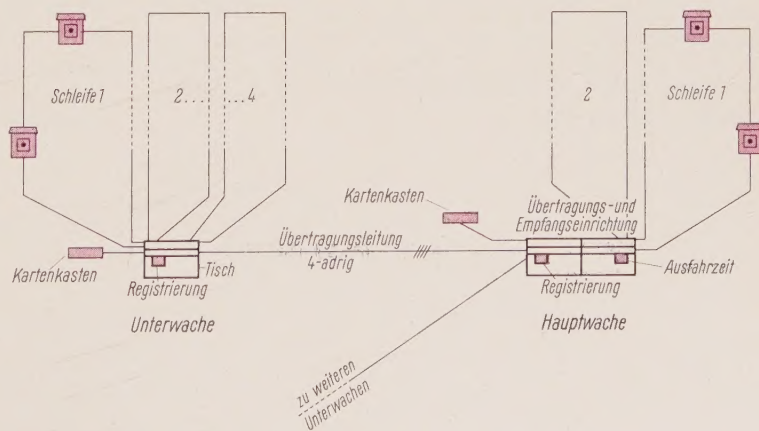


Bild 2 Grundschialtung der Feuermeldeanlage Karlsruhe mit der Unterwache Karlsruhe West und der Hauptwache Stadtmitte

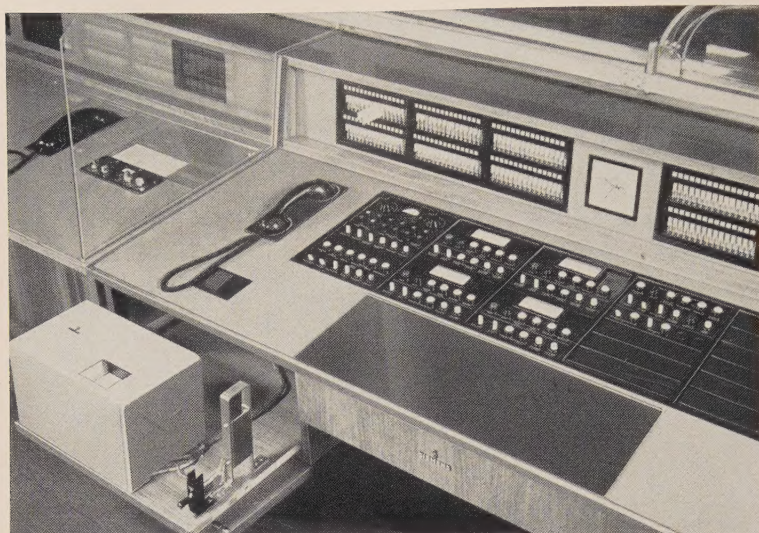


Bild 3 Bedienungstisch der Feuermeldeanlage in der Unterwache Karlsruhe West, ausgebaut für vier Schleifen mit gemeinsamer Meß- und Prüfeinrichtung und Wachalarmeinrichtung.
Im Vordergrund links sieht man den herausgezogenen Typendruckersatz, im Tischaufsatz eine herausgezogene Melderkarte

gleich als schriftlicher Auftrag für den Zugführer des Löschzuges verwendet. Über eine eingebaute Zusatzeinrichtung läßt sich – je nach Ausführung auf selbsttätigem Wege oder von Hand – der Feueralarm zum Wachraum übertragen, wo sich die Feuerwehrmänner aufhalten.

Nach Abschalten des akustischen Alarms leuchtet die erwähnte rote Lampe weiter. Die Feuermeldung wird optisch so lange angezeigt, bis der Wachhabende durch gleichzeitiges Betätigen zweier Tasten die Meldung endgültig löscht – zwei Tasten deswegen, damit das irrtümliche Löschen einer Meldung verhindert wird. Die Feuerwehr veranlaßt schließlich, daß auch der betreffende Melder (Bild 4) wieder in seinen Ausgangszustand zurückgestellt wird, indem das Laufwerk des Melders wieder aufgezogen wird.

Auch wenn eine Feuermeldung über die öffentliche Fernsprechanlage eingeht, können – ebenso wie bei der Übermittlung über die Feuermeldeanlage – die wichtigsten Angaben für etwaige spätere Nachprüfungen festgehalten werden. Die Abstände zwischen dem Eingang der Meldung, der Alarmierung der Wache und der Ausfahrt der Löschfahrzeuge werden dabei sekundengenau von einem Typendruckersatz registriert.

Die Übertragungs-Empfangseinrichtung in der Hauptfeuerwache ist ähnlich aufgebaut. Meldungen aus den Unterwachen werden optisch und akustisch angezeigt und von einem Typendruckersatz registriert. Auf diese Weise wird die Hauptfeuerwache von allen in den einzelnen Unterwachen eingehenden Meldungen unterrichtet, so daß sie bei Katastrophen zusätzliche Maßnahmen im Rahmen der ihr zum Schutz der Stadt und ihrer Bevölkerung obliegenden Aufgaben ergreifen kann.

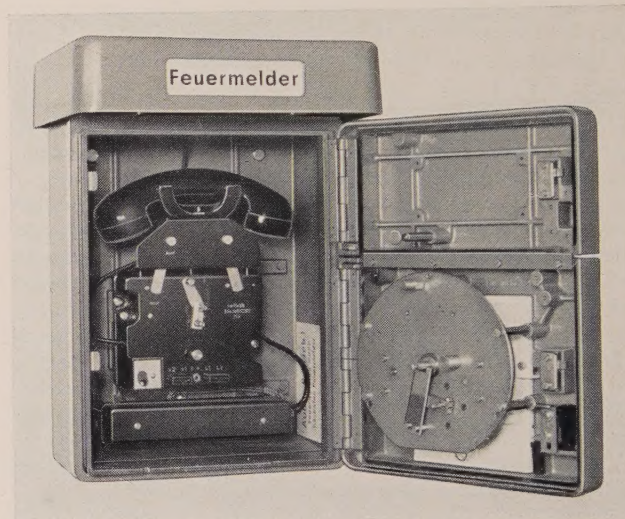


Bild 4 Öffentlicher Wandfeuermelder (geöffnet)

Rechts vorn in der Tür: Ein mechanischer Wecker (als Schutz gegen Mißbrauch)

Links im Gehäuse: Unten das Laufwerk für die Meldungsgabe; oben ein Handapparat für zusätzliche Durchsagen während der Brandbekämpfung